



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**SVAŘOVÁNÍ POTRUBÍ Z KOROZIVZDORNÉ OCELI A  
TITANU**

PIPE WELDING OF STAINLESS STEEL AND TITANIUM

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Vojtěch Dušek**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Jaroslav Kubíček**

**BRNO 2017**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Vojtěch Dušek**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management  
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Kubíček**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Svařování potrubí z korozivzdorné oceli a titanu**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Potrubní systémy v chemickém a energetickém průmyslu musí být vysoce korozně odolné. Nejpoužívanější materiály jsou korozivzdorné austenitické oceli, ale pro řadu technologických procesů se začíná používat i titanových slitin. Práce je zaměřena na ověření orbitálního svařování TIG a materiálové svařitelnosti na vybraných slitinách titanu a austenitické oceli.

### **Cíle diplomové práce:**

1. Zhodnotit svařitelnost korozivzdorné austenitické oceli a titanové slitiny.
2. Vypracovat literární studii možných technologií svařování.
3. Vyhodnotit parametry a podmínky svařování, které mají vliv svařitelnost obou materiálů.
4. Navrhnout parametry pro experimentální ověření svařitelnosti.
5. Provést a vyhodnotit experiment.

### **Seznam doporučené literatury:**

DVOŘÁK, M. a kol. Technologie II, 2. vyd. CERM Brno, 7/2004, 237 s. ISBN 80-214-2683-7.

PILOUS, V. Materiály a jejich chování při svařování, 1. vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009.

PTÁČEK, L. a kol.: Nauka o materiálu I. 2. opr. a rozš. vyd., Brno, CERM, 2003. ISBN: 80-7204-283-1.

Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-85-3.

AMBROŽ, O., KANDUS, B., KUBÍČEK, J. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.

MAJER, L. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 1999. Svařování. ISBN 80-85771-70-5.

BARTÁK, J. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2000. Svařování. ISBN 80-85771-72-1.

ONDREJČEK, P. Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou, 1. vyd. ETERNA PRESS s.r.o. Bratislava 2003, ISBN 80-968359-5-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

### DUŠEK VOJTĚCH: Svařování potrubí z korozi-vzdorné oceli a titanu

Projekt vypracovaný v rámci magisterského studia se zabývá výběrem a hodnocením vhodné technologie svařování korozi-vzdorných oceli a slitin titanu. Popisuje výhody i nevýhody zvolených technologií. Pomocí experimentu jsou porovnány mechanické vlastnosti, vnesené teplo a výsledná povrchová struktura svařených vzorků. Na závěr se práce zabývá technicko – ekonomickým hodnocením vybraných technologií svařování.

#### **Klíčová slova:**

Svařování, svařovací technologie, orbitální svařování, TIG, korozi-vzdorná ocel, slitiny titanu

### DUŠEK VOJTĚCH Pipe welding of stainless steel and titanium

This master's thesis deals with the selection and evaluation of the appropriate welding technology for stainless steel and titanium alloys. Describes advantages and disadvantages of selected technologies. The experiment compares the mechanical properties, the heat input and the resulting surface structure of the welded samples. In conclusion, the thesis deals with the technical - economic evaluation of selected welding technologies.

#### **Key words:**

Welding, welding technology, orbital welding, TIG, stainless steel, titanium alloy

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

DUŠEK, V. *Svařování potrubí z korozivzdorné oceli a titanu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 64 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kubíček.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V ..... dne 25.5.2017

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavovi Kubičkovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

## Obsah

ZADÁNÍ .....	2
ABSTRAKT .....	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE.....	5
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ.....	7
Obsah.....	8
ÚVOD.....	9
1 Představení firmy Intero Chmelan .....	10
1.1 Vysokolegované korozivzdorné oceli .....	11
1.2 Korozivzdorné austenitické Cr-Ni oceli.....	12
1.3 Slitiny titanu.....	21
2 Rozbor použitých metod svařování ve firmě Intero Chmelan a spol. ....	26
2.1 Svařování metodou TIG .....	26
2.2 Svařování metodou MIG/MAG.....	29
2.3 Svařování obalovanou elektrodou .....	30
3 Provedení experimentu .....	32
3.1 Výroba vzorků.....	33
3.2 Výpočet vneseného tepla .....	35
3.3 Tahové zkoušky vzorku.....	41
3.4 Výsledná struktura svaru .....	45
4 Technicko ekonomické hodnocení .....	50
5 Závěry .....	53
Seznam použité literatury .....	54
Seznam symbolů.....	56
Přílohy.....	57
Seznam obrázků a tabulek.....	62



## ÚVOD

Materiály v potravinářském, chemickém, farmaceutickém a energetickém průmyslu musí vykazovat vysokou odolnost vůči korozi (materiály jsou často vystavovány vysoce agresivním kyselinám a louhům) a mechanickou pevnost (mechanické zatížení je vyvoláváno tepelným cyklickým zatížením potrubního systému – ohřívání a následné ochlazování media v potrubí), chemickou stálost a nezávadnost (medium v potrubí nesmí být kontaminováno případnými oxidy ze špatně naformovaného sváru). Tyto podmínky kladou vysoké požadavky jak na svařeče, tak i na základní materiál svaru.

Často používané materiály jsou korozivzdorné austenitické oceli, ale v současnosti se začíná používat titan a jeho slitiny.

Vhodnou metodou, pro svařování těchto materiálů, je metoda TIG. Pro svařování potrubních systémů v potravinářském, chemickém, farmaceutickém a energetickém průmyslu se používá jak ruční, tak i orbitální svařování metodou TIG.



Obr. 1. Výrobek Intero Chmelan, při jehož výrobě bylo použito orbitální i ruční svařování

## 1 Představení firmy Intero Chmelan

Firma Intero Chmelan poskytuje komplexní služby při výrobě a instalaci technologických celků pro chemický, potravinářský a farmaceutický průmysl včetně projektové dokumentace, výroby atypických tlakových nádob a odborné pomoci při zavádění výroby.

Hlavní výrobní program společnosti Intero Chmelan:

- Technologické potrubní rozvody (obr. 2 vlevo)
- Výroba a renovace atypických tlakových nádob (obr. 2 vpravo)
- Výroba a rekonstrukce tlakových nádob
- Výroba čistících stanic C.I.P

Svářeči firmy Intero Chmelan, disponují technologií ručního i orbitálního svařování metodou TIG, ručním svařování metodou MIG/MAG i ručním svařování obalovanou elektrodou. Nabízí velkou škálu svařenců a možnosti svařovaných materiálů: nelegované oceli, korozivzdorné oceli, žárupevné oceli, hliník, titan a jejich slitiny [1, 2].



Obr. 2 Hlavní výrobní program společnosti Intero Chmelan:

## 1.1 Vysokolegované korozivzdorné oceli

Základním rozeznávacím prvkem u vysokolegovaných korozivzdorných ocelí je velký obsah chrómu. Obsahují minimálně 12 % chrómu v závislosti na obsahu uhlíku. Vysoký obsah chrómu je podmínkou pro pasivaci. Tzn. odolnost proti chemické a elektrochemické korozi v oxidačním prostředí. Korozivzdorné ocele se legují prvky jako: mangan, molybden, nikl, titan a kobalt. Dále se tyto ocele vyznačují malým obsahem uhlíku, to zajišťuje dobrou svařitelnost [1].

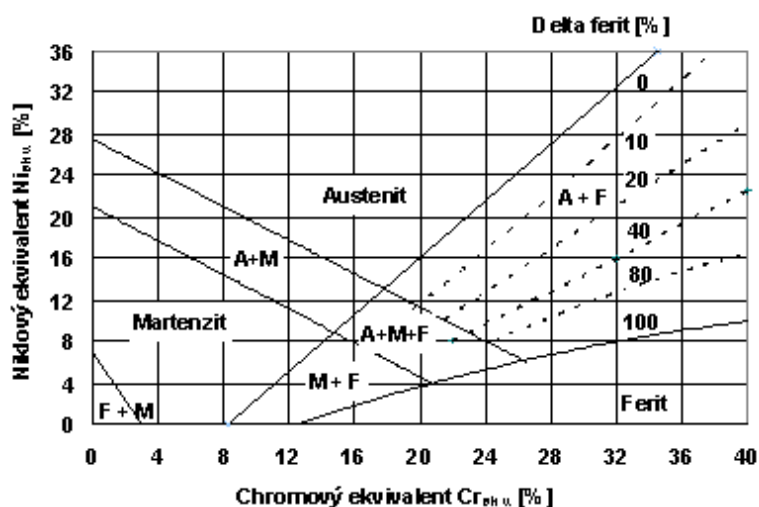
Nejdůležitějšími legujícími prvky jsou:

- austenitotvorné – rozšiřující oblast  $\gamma$  v rovnovážném diagramu:  
C, Ni, Cu, Mn, M, N
- feritotvorné – zužující oblast  $\gamma$  v rovnovážném diagramu: :  
Cr, Mo, Si, Al, W, Ti, Nb, V

V závislosti na mikrostruktuře a obsahu hlavních legur se korozivzdorné oceli rozdělují:

- Martenzitické chromové oceli
- Feritické chromové oceli
- Austenitické Cr-Ni oceli
- Austeniticko – feritické (duplexní) Cr-Ni oceli,

Pro odhad výsledné mikrostruktury svarového kovu Cr – Ni austenitické oceli s nízkým obsahem dusíku se používá Schaefflerův strukturní diagram Cr – Ni (Obr. 2). De Longův diagram se používá pro odhad výsledné mikrostruktury Cr – Ni austenitické oceli s obsahem dusíku (určuje mikrostrukturu Cr – Ni austenitické oceli s obsahem feritu do 15%). Diagram WRC – 1992 se používá pro odhad výsledné mikrostruktury svarového kovu Cr – Ni austenitické oceli s vyšším obsahem feritu ve struktuře [3, 4, 5, 6, 7].



Obr. 3 Schaefflerův strukturní diagram Cr- Ni ocelí [3]

## 1.2 Korozivzdorné austenitické Cr-Ni oceli

V sortimentu svařování jsou zkušenosti s ocelmi dále uvedenými:

### Materiálový rozbor korozivzdorné oceli používané ve firmě Intero Chmelan

#### EN ISO 1.4571

další značení: ČSN 41 7348; AISI 316Ti; DIN X6CrNiMoTi 17-12-2

Tato korozivzdorná ocel je stabilizovaná molybdenem a titanem. Titan má větší afinitu v uhlíku než chrom, chrání tak materiál před mezikrystalickou korozi. Díky molybdenu odolává bodové korozi a kyselinám. Použití v energetickém, farmaceutickém, chemickém a potravinářském průmyslu. Tato korozivzdorná ocel je nejdražší varianta korozivzdorné oceli používané ve firmě Intero Chmelan. Hutní list oceli EN ISO 1.4571 viz příloha č.1 [1].

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli EN ISO 1.4571

R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>p 0,2</sub> [MPa]	R <sub>p 1,0</sub> [MPa]	A [%]
685	490	523	48

Tab. 2 Chemické složení oceli EN ISO 1.4571

C [hm.%]	Si [hm.%]	S [hm.%]	P [hm.%]	Mn [hm.%]	Cr [hm.%]
0,030	0,590	0,001	0,027	1,150	16,680
Ni [hm.%]	Mo [hm.%]	Ti [hm.%]	Co [hm.%]	Cu [hm.%]	N [hm.%]
10,650	2,060	0,310	0,190	0,270	0,014

Výpočet výsledné struktury oceli EN ISO 1.4571 dle Schaefflerova diagramu Cr – Ni ocelí:

$$Cr_e = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb + 2 \cdot Ti \quad [3] \quad (1.0)$$

$$Cr_e = 16,680 + 2,060 + 1,5 \cdot 0,590 + 0,5 \cdot 0 + 2 \cdot 0,310 = 20,245\%$$

$$Ni_e = Ni + 0,5 \cdot Mo + 30 \cdot C + 30 \cdot (N - 0,05) \quad [3] \quad (1.1)$$

$$Ni_e = 10,650 + 0,5 \cdot 1,150 + 30 \cdot 0,030 + 30 \cdot (0,014 - 0,05) = 11,045 \% \quad (1.1)$$

Výpočet obsahu feritu v oceli EN ISO 1.4571 dle De Longova diagramu Cr- Ni ocelí:

$$Cr_e = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb \quad [3] \quad (1.2)$$

$$Cr_e = 16,680 + 2,060 + 1,5 \cdot 0,590 + 0,5 \cdot 0 = 19,625 \%$$

$$Ni_e = Ni + 30 \cdot C + 30 \cdot N + 0,5 \cdot Mn \quad [3] \quad (1.3)$$

$$Ni_e = 10,650 + 30 \cdot 0,03 + 30 \cdot 0,014 + 0,5 \cdot 1,150 = 12,545\%$$

Výpočet náchylnosti oceli k trhlinám za horka EN ISO 1.4571:

$$H. C. S = \frac{C \cdot \left( S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right) \cdot 10^3}{3 \cdot Mn + Cr + Mo + V} \quad [3] \quad (1.4)$$

$$H. C. S = \frac{0,030 \cdot \left( 0,001 + 0,027 + \frac{0,590}{25} + \frac{10,650}{100} \right) \cdot 10^3}{3 \cdot 1,150 + 16,680 + 2,060 + 0} = 0,2137 \%$$

$$U. C. S = 230 \cdot C + 190 \cdot S + 75 \cdot P + 45 \cdot Nb - 12,1 \cdot Si - 54 \cdot Mn \quad [3] \quad (1.5)$$

$$U. C. S = 230 \cdot 0,03 + 190 \cdot 0,001 + 75 \cdot 0,027 + 45 \cdot 0 - 12,1 \cdot 0,59 - 54 \cdot 1,15 = -4,234$$

EN ISO 1.4307;

další značení: ČSN 41 7240; AISI 304L; X2 CrNi 18-9

Tato korozivzdorná ocel je legována chromem a niklem. Použití převážně v potravinářství, kde nehrozí styk s agresivními látkami (kyseliny, louhy atd.). Tato korozivzdorná ocel je nejlevnější varianta korozivzdorné oceli používané ve firmě Intero Chmelan. Hutní list oceli EN ISO 1.4407 viz. příloha č.2 [1].

Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli EN ISO 1.4407

Rm [MPa]	Rp 0,2 [MPa]	Rp 1,0 [MPa]	A [%]
658	428	474	53

Tab. 4 Chemické složení oceli EN ISO 1.4307

C [hm.% ]	Si [hm.% ]	S [hm.% ]	P [hm.% ]	Mn [hm.% ]	Cr [hm.% ]	Ni [hm.% ]	Co [hm.% ]	Cu [hm.% ]	N [hm. ]
0,021	0,44	0,004	0,031	1,450	18,070	8,020	0,175	0,320	0,07 1

Výpočet výsledné struktury oceli EN ISO 1.4307 dle Schaefflerova diagramu Cr – Ni ocelí:

$$Cr_e = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb + 2 \cdot Ti \quad [3] \quad (1.6)$$

$$Cr_e = 18,070 + 0 + 1,5 \cdot 0,440 + 0,5 \cdot 0 + 2 \cdot 0 = 20,01\%$$

$$Ni_e = Ni + 0,5 \cdot Mo + 30 \cdot C + 30 \cdot (N - 0,05) \quad [3] \quad (1.7)$$

$$Ni_e = 8,020 + 0,5 \cdot 1,450 + 30 \cdot 0,021 + 30 \cdot (0,071 - 0,05) = 10,0005 \%$$

Výpočet obsahu feritu v oceli EN ISO 1.4307 dle De Longova diagramu Cr- Ni ocelí:

$$Cr_e = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb \quad [3] \quad (1.8)$$

$$Cr_e = 18,07 + 0 + 1,5 \cdot 0,44 + 0,5 \cdot 0 = 18,73 \%$$

$$Ni_e = Ni + 30 \cdot C + 30 \cdot N + 0,5 \cdot Mn \quad [3] \quad (1.9)$$

$$Ni_e = 8,02 + 30 \cdot 0,021 + 30 \cdot 0,071 + 0,5 \cdot 1,45 = 11,505\%$$

Výpočet náchylnosti oceli k trhlinám za horka EN ISO 1.4307:

$$H. C. S = \frac{C \cdot \left( S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right) \cdot 10^3}{3 \cdot Mn + Cr + Mo + V} \quad [3] \quad (1.11)$$

$$H. C. S = \frac{0,021 \cdot \left( 0,004 + 0,031 + \frac{0,440}{25} + \frac{8,02}{100} \right) \cdot 10^3}{3 \cdot 1,450 + 18,070 + 0 + 0} = 0,1244 \%$$

$$U. C. S = 230 \cdot C + 190 \cdot S + 75 \cdot P + 45 \cdot Nb - 12,1 \cdot Si - 54 \cdot Mn \quad [3] \quad (1.12)$$

$$U. C. S = 230 \cdot 0,021 + 190 \cdot 0,004 + 75 \cdot 0,031 + 45 \cdot 0 - 12,1 \cdot 0,44 - 54 \cdot 1,45 = -5,239$$

### EN ISO 1.4404

další značení: ČSN 41 7349; AISI 316L; DIN X2CrNiMo 17–12–2

Tato korozivzdorná ocel je stabilizovaná molybdenem. Odolává kyselinám a tento materiál náchylný na mezikrystalickou korozi. Použití převážně pro technické rozvody a tam kde hrozí styk s agresivními látkami. Použití v potravinářském a chemickém průmyslu. Tato korozivzdorná oceli je střední cenová třída korozivzdorné oceli používané ve firmě Intero Chmelan. Hutní list oceli EN ISO 1.4404 viz. příloha č.3 [1].



Tab. 5 Mechanické vlastnosti oceli EN ISO 1.4404

Rm [MPa]	Rp 0,2 [MPa]	Rp 1,0 [MPa]	A [%]
490	190	225	40

Tab. 6 Chemické složení oceli EN ISO 1.4404

C [hm.%]	Mn [hm.%]	Si [hm.%]	P [hm.%]	S [hm.%]	Cr [hm.%]	Ni [hm.%]	Mo [hm.%]	N [hm.%]
0,016	1,21	0,32	0,028	0,014	15,54	11,00	2,09	0,041

Výpočet výsledné struktury oceli EN ISO 1.4404 dle Schaefflerova diagramu Cr- Ni ocelí:

$$Cr_e = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb + 2 \cdot Ti \quad [3] \quad (1.13)$$

$$Cr_e = 15,54 + 2,09 + 1,5 \cdot 0,32 + 0,5 \cdot 0 + 2 \cdot 0 = 18,11 \%$$

$$Ni_e = Ni + 0,5 \cdot Mo + 30 \cdot C + 30 \cdot (N - 0,05) \quad [3] \quad (1.14)$$

$$Ni_e = 11,00 + 0,5 \cdot 1,21 + 30 \cdot 0,016 + 30 \cdot (0,0410 - 0,05) = 11,815 \%$$

Výpočet obsahu feritu v oceli EN ISO 1.4404 dle De Longova diagramu Cr- Ni ocelí:

$$Cr_e = Cr + Mo + 1,5 \cdot Si + 0,5 \cdot Nb \quad [3] \quad (1.15)$$

$$Cr_e = 15,54 + 2,09 + 1,5 \cdot 0,32 + 0,5 \cdot 0 = 18,11 \%$$

$$Ni_e = Ni + 30 \cdot C + 30 \cdot N + 0,5 \cdot Mn \quad [3] \quad (1.16)$$

$$Ni_e = 11,0 + 30 \cdot 0,016 + 30 \cdot 0,041 + 0,5 \cdot 1,21 = 13,315\%$$

Výpočet náchylnosti oceli k trhlinám za horka EN ISO 1.4404:

$$H. C. S = \frac{C \cdot \left( S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right) \cdot 10^3}{3 \cdot Mn + Cr + Mo + V} \quad [3] \quad (1.17)$$

$$H. C. S = \frac{0,016 \cdot \left( 0,014 + 0,028 + \frac{0,32}{25} + \frac{11,00}{100} \right) \cdot 10^3}{3 \cdot 2,09 + 15,54 + 2,09 + 0} = 0,1103 \%$$

$$U.C.S = 230 \cdot C + 190 \cdot S + 75 \cdot P + 45 \cdot Nb - 12,1 \cdot Si - 54 \cdot Mn [3] \quad (1.18)$$

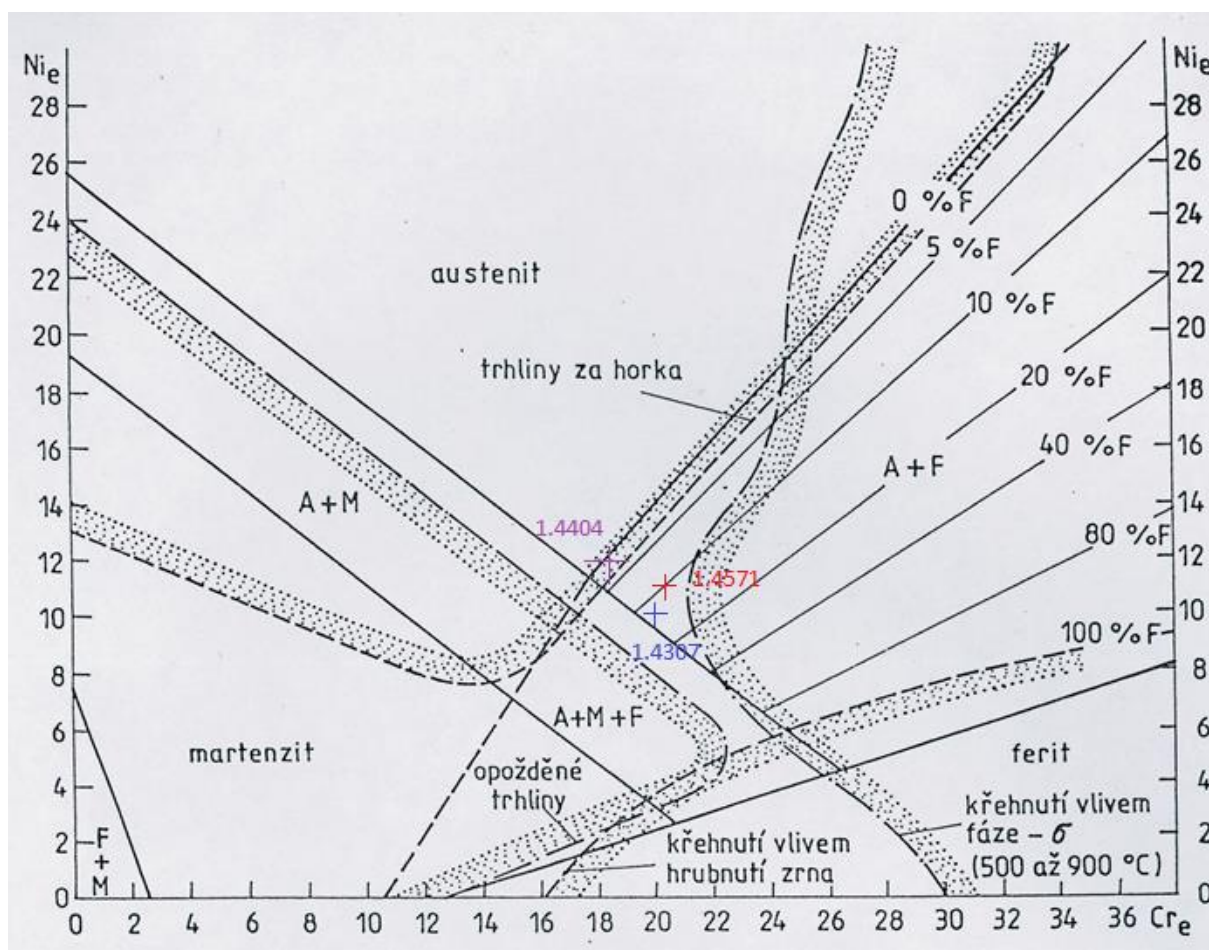
$$U.C.S = 230 \cdot 0,016 + 190 \cdot 0,014 + 75 \cdot 0,028 + 45 \cdot 0 - 12,1 \cdot 0,32 - 54 \cdot 1,21 = -1,966$$

Tab. 7 Shrnutí

Ocel EN ISO	$Cr_e$	$Ni_e$	Mikrostruktura	Obsah feritu	H.M.S	U.C.S
1.4571	20,245 %	11,045 %	A+F	6 %	0,2137 %	-4,234
1.4307	20,01 %	10,00005 %	A+F	5,5 %	0,1244 %	-5,239
1.4404	18,11 %	11,815 %	A	0 %	0,1103 %	-1,966

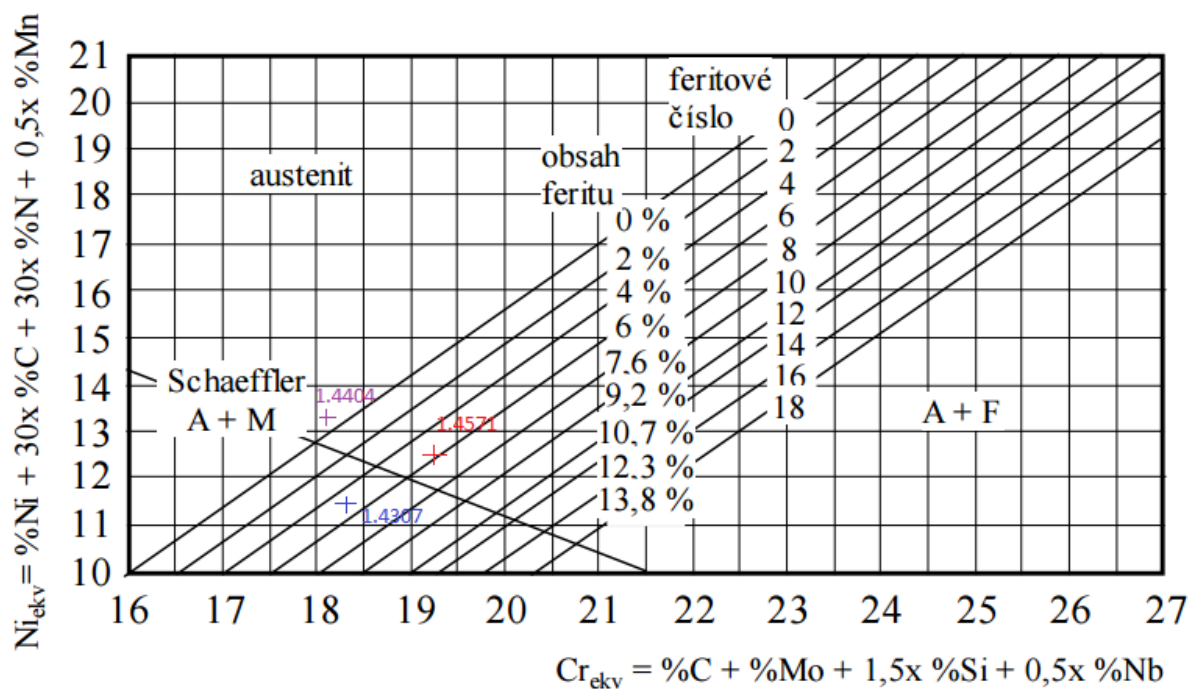
Ocel je náchylná k trhlinám za horka pokud je U.C.S v intervalu  $10 < U.C.S < 30$

Ocel je náchylná k trhlinám za horka, pokud je  $H.M.S > 1,6$



Obr. 4 Výsledné mikrostruktury oceli EN ISO 1.4307; 1.4571, 1.4404 dle Schaefflerova diagramu Cr – Ni ocelí [1]





Obr. 5 Výsledné mikrostruktury oceli EN ISO 1.4307; 1.4571, 1.4404 dle De Longova diagramu Cr – Ni ocelí

#### Svařitelnost austenitických ocelí:

Svařitelnost austenitických Cr-Ni ocelí je dána těmito hlavními faktory, jejichž vznik je nežádoucí: [3, 4, 5, 6, 7].

- Precipitace karbidů chromu – důsledkem je mezikrystalická koroze
- Tvorba trhlin za horka
- Zkřehnutí vlivem sigma fáze

#### Mezikrystalická koroze:

Hlavní příčinou mezikrystalické koroze je vznik karbidů chromu a nitridů na rozhraní zrn austenitu. U korozivzdorných ocelí nastává v pásmu 425–815 °C [3, 4, 5, 6, 7].

#### Vznik mezikrystalické koroze:

- Teorie ochuzení: změna chemického složení tuhého roztoku na rozhraní zrn v okolí precipitátů. Dochází při snížení obsahu chromu v okolí. Klesne obsah chromu v povrchové vrstvě na hranicích zrn tak, že tato vrstva přestává být schopná pasivizace a podléhá korozi.
- Teorie pnutí: energetickými rozdíly v místech vylučování sekundární fáze

- Teorie článku: rozpouštěním rozhraní zrn následkem vniku místních článků [3, 4, 5, 6, 7].

#### Zvýšení odolnosti proti mezikrystalické korozi:

- Chemické složení oceli – uhlík umožňuje vznik karbidů na hranicích zrn a tím způsobuje mezikrystalickou korozi. Toto se dá vyřešit snížením obsahu uhlíku pod 0,02%, kdy mezikrystalická koroze nemůže vzniknout. Z následující tabulky (viz tab.8), vyplývá že některé používané korozivzdorné oceli obsahují více uhlíku než 0,02 %, v těchto případech se korozivzdorná ocel chrání stabilizačními prvky.

Tab. 8 Obsah uhlíku v korozivzdorných ocelích používaných ve firmě Intero Chmelan

Ocel EN ISO	C [hm.%]
1.4571	0,030
1.4307	0,021
1.4404	0,016

- Stabilizaci oceli – snížit obsah uhlíku pod 0,02 % je velmi obtížná a drahá procedura. Proto se přidávají do austenitických ocelí prvky s větší afinitou k uhlíku než chrom (např. Ti, Nb, Ta,) tyto prvky na sebe vážou uhlík v podobě karbidu a zabraňují tak vzniku karbidu chromu a následné ochuzení oceli o chrom. Podle obsahu uhlíku musí být dodržen následující poměr, pokud má dojít ke stabilizaci oceli:

$$\frac{Ti}{c} \geq 4 \quad [3] \quad (1.17)$$

$$\frac{0,31}{0,03} = 10,34$$

Ze vztahu 1.17 vyplývá, že ocel EN ISO 1.4571 i přes velký obsah uhlíku (0,03 %; viz tab.8) je dostatečně chráněna stabilizujícím prvkem.

- Dobu setrvání v oblasti kritických teplot – teplota má velký vliv na zcitlivění austenitických korozivzdorných ocelí a vznik mezikrystalické koroze [3, 4, 5, 6, 7].

### Vznik trhlin za horka:

Trhliny za horka vznikají jak ve svarovém kovu, tak v teplem ovlivněné oblasti, při ochlazování svarových spojů za vysokých teplot. Podle druhu můžeme tepelné trhliny rozdělit:

- Krystalizační – vznikají ve svarovém kovu v průběhu tuhnutí (krystalizace)
- Likvační – vznikají ve vysokoohřátém podhousenkovém pásmu teplem ovlivněné oblasti základního materiálu, nebo ve svarovém kovu při několikavrstvém svařování
- Polygonizační – (trhliny z poklesu tažnosti) mohou vznikat jako likvační v tepelně ovlivněné oblasti základního materiálu nebo ve svarovém kovu při nižší teplotě. Tyto trhliny se vyskytují pouze ve vysokolegované austenitické oceli a slitinách niklu.

Za hlavní metalurgické příčiny krystalizačních a likvačních trhlin v ocelích se považují nečistoty S a P, které tvoří s železem nízkotavitelné sulfidy a fosfidy. S ohledem na zvýšení odolnosti proti trhlinám se doporučuje obsah síry a fosforu menší než 0,02 % [3, 4, 5, 6, 7].

Tab. 9 Obsah S a P v korozivzdorných ocelí používaných ve firmě Intero Chmelan

Ocel EN ISO	S [hm.%]	P [hm.%]
1.4571	0,001	0,027
1.4404	0,014	0,028
1.4307	0,004	0,031

### Opatření proti vzniku trhlin za horka

- Snížení měrného příkonu svařování (sníží se množství natavené fáze, stupeň segregace, růst zrna) omezujeme obvykle tepelný příkon do svaru na maximální hodnotu 1,5 kJ/mm (lépe 1,0 kJ/mm)
- Používat přídatné materiály vysoké čistoty
- Omezit deformace a napětí použitím vhodných technik svařování, tvaru svarového spoje, předehřevu
- Nepoužívat housenky s vysokým tvarovým koeficientem svaru a malým průřezem zejména v kořenové oblasti [3, 4, 5, 6, 7].

### Shrnutí:

Nevýhodou austenitických ocelí je náchylnost ke vzniku mezikrystalické koroze a trhlin za horka.

- Ocel EN ISO 1.4571 – tato korozivzdorná ocel má velký obsah uhlíku proto, je tato ocel stabilizovaná titanem pro zabránění vzniku mezikrystalické koroze. Díky malému obsahu síry a fosforu by nemělo docházet ke vzniku trhlin za horka.

Doporučení: Kvůli vysoké ceně používat tuto ocel pouze v oblastech kde je vyžadována vysoká chemická odolnost a stálost. Převážně chemický průmysl.

- Ocel EN ISO 1.4404 – tato korozivzdorná ocel díky nízkému obsahu uhlíku a obsahu stabilizačního prvku molybdenu, není tato korozivzdorná ocel náchylná k mezikrystalické korozi. Vysoký obsah síry a fosforu, ale U.C.S a H.M.S indexy naznačují že by nemělo docházet k trhlinám za horka.

Doporučení: Levnější varianta než korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Použití této korozivzdorné oceli v potravinářském (tam kde se dostane do styku s louhy a kyselinami) nebo v chemickém průmyslu.

- Ocel EN ISO 1.4307 – tato korozivzdorná ocel má obsah uhlíku na hranici vzniku mezikrystalické koroze. Vysoký obsah fosforu, ale U.C.S a H.M.S indexy naznačují že by nemělo docházet k trhlinám za horka.

Doporučení: Nejlevnější varianta korozivzdorné oceli používané ve společnosti Intero Chmelan. Použití převážně pro potravinářské produktové rozvody, tam kde nehrozí styk s agresivními látkami jako kyseliny a louhy.

Tab. 10 Shrnutí výhod a nevýhod korozivzdorných austenitických ocelí [1]

<b>Výhody korozivzdorných austenitických ocelí</b>	<b>Nevýhody korozivzdorných austenitických ocelí</b>
Dobře svařitelné	Vysoké pořizovací ceny
Vysoká houževnatost	Špatná tepelná vodivost
Žárovzdorné až do 1150 °C	Těžko obrobitelné
Žárupevné až do 750 °C	Náchylnost k MKK a trhlinám za horka

### 1.3 Slitiny titanu

Ve srovnání s korozivzdornými oceli jsou slitiny titanu dražší. Důvodem je vysoká cena a náročné technologické postupy při jejich zpracování. Slitiny titanu mají vysokou odolnost vůči korozi a díky příznivému poměru pevnosti a hmotnosti v některých prostředích překonají korozivzdorné oceli. Slitiny titanu díky těmto vlastnostem jsou úspěšně aplikovány v potravinářském, energetickém, farmaceutickém i chemickém průmyslu.

Slitiny titanu lze rozdělit dle fázového složení slitin na tři skupiny:

- Skupiny  $\alpha$
- Skupiny  $\alpha + \beta$
- Skupiny  $\beta$

#### Slitiny titanu skupiny $\alpha$

Slitiny obsahující pouze fázi  $\alpha$ , jsou označovány jako jednofázové slitiny. Mezi stabilizující prvky fáze  $\alpha$  jsou kyslík, dusík, hliník a uhlík. Hlavním legujícím prvkem je hliník, který stabilizuje fázi  $\alpha$  (hliník zvyšuje rozpustnost vodíku – slitina se stává méně citlivou na obsah vodíku). Tyto slitiny mohou obsahovat také neutrálně působící cín a zirkon. Prvky jako dusík, uhlík a kyslík jsou považovány za nežádoucí, protože negativně ovlivňují výsledné mechanické vlastnosti (značně zvyšují tvrdost a křehkost slitin). Předností  $\alpha$  slitin je dobrá tvářitelnost, svařitelnost, výborná odolnost proti korozi a teplotní stálost. [3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13]

#### Slitiny titanu skupiny $\alpha + \beta$

Tyto slitiny patří do skupiny tzv. dvoufázových slitin. Struktura složená ze dvou fází ( $\alpha + \beta$ ) vzniká velice jednoduše, jedná se o převládající typ z titanových slitin. Prvky jako dusík, uhlík a kyslík jsou považovány za nečistoty (zhoršují mechanické vlastnosti a mají špatný vliv na zpracování). Často používané přísadové prvky jsou hliník ( $\alpha$  stabilizátor) a vanad ( $\beta$  stabilizátor). Dvoufázové slitiny mají velkou pevnost, při vyšších teplotách nad 400 °C tato pevnost klesá (pevnost klesá s rostoucí teplotou). Slitiny mají dobrou tvářitelnost za studena. Silně stabilizované slitiny mají však omezenou svařitelnost a malou tepelnou stabilitu. Oproti  $\beta$  slitinám jsou  $\alpha + \beta$  slitiny více náchylné na vodíkovou křehkost. [3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13]

#### Slitiny titanu skupiny $\beta$

Slitiny obsahující pouze fázi  $\beta$ , jsou označovány jako jednofázové slitiny. Mezi stabilizující prvky fáze  $\beta$  jsou vanad, molybden, niob a tantal. Hlavním legujícím prvkem je Vanad. Vanad se dobře rozpouští ve fázi  $\beta$  a u titanových slitin zvyšuje pevnost a tvárnost. Předností slitin  $\beta$  je vysoká odolnost proti korozi, vysoká pevnost a tvářitelnost za studena. Nevýhodou  $\beta$  slitin

je velká citlivost na nečistoty, hlavně uhlík a kyslík. Slitiny  $\beta$  se vyznačují vyšší hmotností (toto je způsobeno  $\beta$  stabilizujícími přísadami) a nákladnější výrobou. [3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13]

V sortimentu svařování firmy Intero Chmelan jsou zkušnosti se slitinou titanu DIN 3.7035, která spadá do Slitin titanu skupiny  $\alpha$  následujících vlastností a chemického složení:

Hutní list slitiny titanu DIN 3.703 viz. příloha č.4.

Tab. 11 Mechanické vlastnosti slitiny titanu DIN 3.7035.

R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>p 0,2</sub> [MPa] při 20 °C	R <sub>p 0,2</sub> [MPa] při 205 °C	R <sub>p 0,2</sub> [MPa] při 315 °C	R <sub>p 2,0</sub> [MPa] při 425 °C	A [%]
420	300	145	107	89	20

Tab. 12 Chemické složení slitiny titanu DIN 3.7035.

C [hm.%]	Fe [hm.%]	H [hm.%]	N [hm.%]	O [hm.%]	Si <sup>++</sup> [hm.%]	jiné prvky [hm.%]
<0,1	<0,3	<0,015	<0,03	<0,25	-	<0,3

#### Svařitelnost titanových slitin:

Svařitelnost titanových slitin je ovlivňována schopností pohlcovat plyny od teploty 400 °C. Pohlcování plynů způsobuje zvýšení pevnosti a pokles houževnatosti. Ke zkřehnutí svarového spoje může dojít již při malém obsahu plynu ve svarovém kovu nebo v základním materiálu. Proto je nutné, aby byla svarová lázeň, tepelně ovlivněná oblast i oblast kořene svaru dokonale chráněna inertním plynem před účinky okolní atmosféry. Jako svařovací plyny se používají argon, helium nebo jejich směsi. Tyto plyny musí být značné čistoty (99,995%).

Pro dosažení dobrých mechanických vlastností svaru je nutné udržet obsah vodíku ve slitině pod 0,01 hm.%, dusík pod 0,05 hm.%, kyslík pod 0,15 hm.% a uhlík pod 0,1hm.%. Slitiny titanu se vyznačují velkou afinitou titanu ke kyslíku a dusíku. Na svařitelnost titanových slitin působí velmi nepříznivě vodík. Vodík s titanem tvoří hybridy (TiH<sub>2</sub>) a výrazně zvyšují vrubovou houževnatost, tvoří póry a zvyšují náchylnost k trhlinám za nízkých teplot. Uhlík rovněž působí nepříznivě při svařování titanových slitin. Uhlík tvoří karbidy titanu (TiC) přednostně na hranicích zrn a snižuje tak houževnatost titanu. [3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13]

### Použití ochranných plynů:

Při svařování titanových slitin je nutné, aby byla svarová lázeň, tepelně ovlivněná oblast i oblast kořene svaru dokonale chráněna inertním plynem před účinky okolní atmosféry. Pokud nedojde k ochraně svarového kovu před účinky okolní atmosféry dojde k zoxidování povrchu svaru (viz obr. 6). K ochraně povrchu se používají se používají inertní svařovací plyny argon, helium nebo jejich směsi. Tyto plyny musí být o vysoké čistotě.



Obr. 6 Zoxidovaný povrch svaru slitiny titanu

Pro ochranu kořene svaru před účinky okolní atmosféry, nesmí být používán stejný formovací plyn, který je používán pro formování kořenové vrstvy svaru u korozi-vzdorných ocelí. Formovací plyn pro korozi-vzdorné ocele je směs argonu a vodíku. Slitiny titanu jsou velmi náchylné na přítomnost vodíku v atmosféře. Pokud by došlo k použití tohoto formovacího plynu, výsledný svár by neodpovídal požadované hodnotě (viz obr. 7). Proto pro formování kořenové vrstvy titanových slitin musí být použity stejné plyny o stejné čistotě, jako pro svařování povrchu svaru.



Obr. 7 Zoxidovaný povrch kořenové vrstvy svaru slitiny titanu při použití nevhodného formovacího plynu

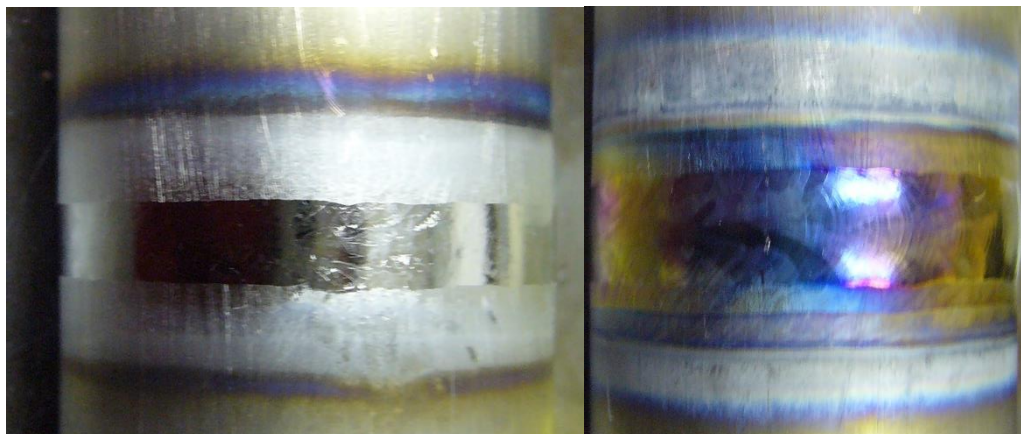


Protože slitiny titanu jsou schopny pohlcovat plyny od teploty 400 °C (pohlcování plynu způsobuje nežádoucí mechanické změny výsledného svaru) musí se svařovat slitiny titanu ve vakuových komorách nebo pomocí vlečné ochrany (viz obr. 8).



Obr. 8 Použití vlečné ochrany při svařování slitin titanu pomocí orbitálního svařování metodou TIG

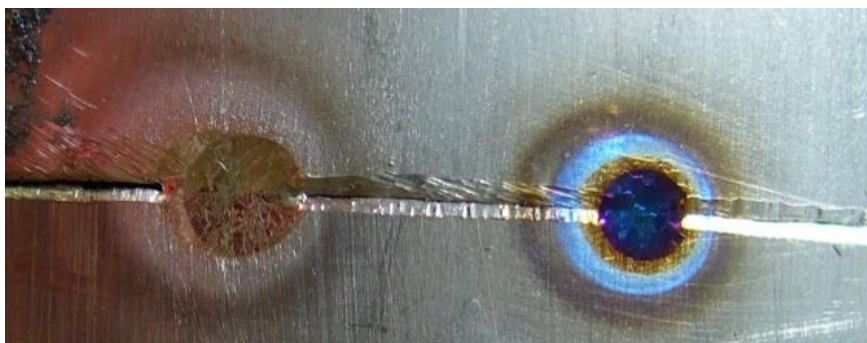
Pomocí vlečné ochrany je svarová lázeň chráněna dostatečně dlouho, tak aby došlo ke zchladnutí svarového kovu a nedošlo k nežádoucí oxidaci povrchu svaru. Na obr. 9 je vidět rozdíl mezi chráněným svarem (viz obr. 9 vlevo) a nechráněným zoxidovaným svarem (viz obr. 9 vpravo). Mírná oxidace se projeví slámově žlutou barvou, střední oxidace hnědou až bronzovou barvou a silná oxidace modrou barvou. Přípustná je pouze kovově lesklá až slabě žlutá barva výsledného svaru.



Obr. 9 Chráněný a nechráněný povrch svaru



Při ručním svařování (hlavně při ukončování svaru) a bodování je nutné používat dostatečně velkou svařovací hubici (aby bylo dosaženo kvalitní ochrany svarové lázně a tepelně ovlivněné oblasti) a dlouhý dofuk svařovacího plynu. Obzvláště při ručním bodování vznikají nežádoucí chyby, při krátkém dofuku ochranného plynu (svářeč nenechá bod pod ochranou atmosférou vychladnout). Na obr. 10 je vidět rozdíl mezi dobře chráněným bodem a příliš krátce chráněným bodem. Takto zoxidované body jsou považovány za chyby během svařování a jsou nežádoucí.



Obr. 10 Rozdíl mezi dobře chráněným a špatně chráněným bodem

#### Zásady pro svařování titanu a jeho slitin:

- Očistit a odmastit povrch v místě svaru
- V místě svaru zabezpečit kovově čistý povrch bez oxidů
- Používat přídatné materiály stejného nebo podobného chemického složení jako svařovaný materiál s velmi malým obsahem nečistot
- Chránit svarovou lázeň, tepelně ovlivněnou oblast, přídatný materiál a kořenovou vrstvu svaru ochranným plynem nad teplotu 400 °C
- Používat svařovací a ochranné plyny o vysoké čistotě

V případě nedodržení doporučených podmínek při procesu svařování dochází ke vzniku svarových vad. U titanových slitin se pak může jednat o makro nebo mikro segregaci, vznik nežádoucích oxidů nebo hybridů, popraskání svaru při tuhnutí taveniny, praskání vlivem znečištění svaru při kontaktu se vzduchem, vlhkostí nebo uhlovodíky, kde do svarového kovu vniká zejména kyslík, dusík, uhlík a vodík. Vodík může způsobovat vodíkovou křehkost a výrazně zvyšuje vrubovou houževnatost. Uhlík tvoří karbidy titanu přednostně na hranicích zrn a snižuje tak houževnatost titanu. [3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13]

## 2 Rozbor použitých metod svařování ve firmě Intero Chmelan a spol.

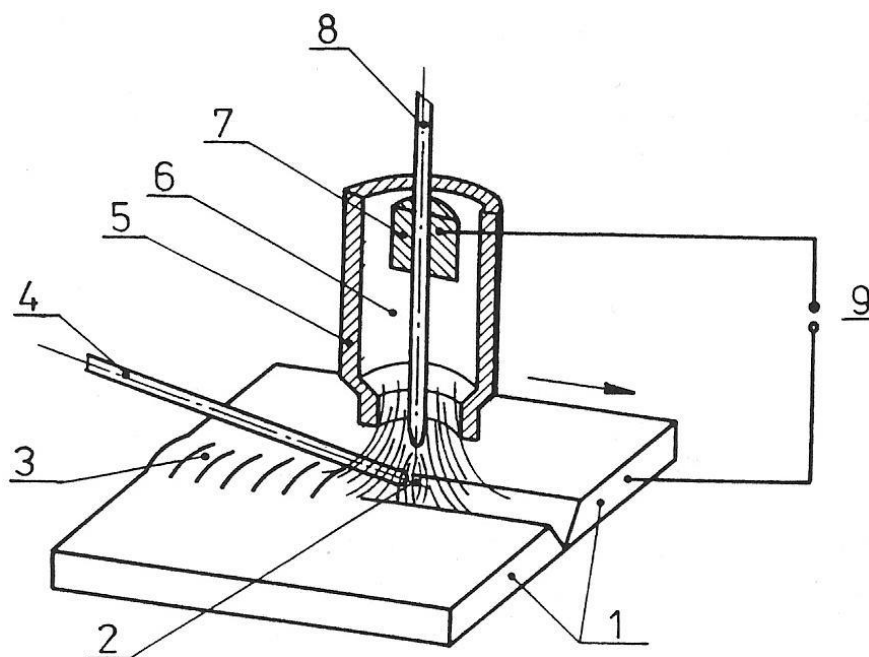
Ve firmě Intero Chmelan se používají ke svařování tyto technologie:

- Svařování metodou TIG
- Svařování metodou MIG/MAG
- Svařování obalovanou elektrodou

V této kapitole budou všechny používané metody popsány, zohledněny jejich výhody a nevýhody a vybrána vhodná metoda pro svařování korozi-vzdorných ocelí a slitin titanu.

### 2.1 Svařování metodou TIG

Při svařování metodou TIG (obr. 11) hoří elektrický oblouk mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem, v inertním prostředí netečných plynů. Nejčastěji používané svařovací plyny jsou argon, helium nebo směsi těchto plynů. Lze svařovat bez přídavného materiálu. Pokud je přídavný materiál použit, je často přidáván ve formě drátů. Svařování metodou TIG lze rozdělit na svařování střídavým proudem, pro hliník a hořčík a svařování stejnosměrným proudem, pro středně a vysokolegovanou ocel, měď, nikl, titan, zirkon, molybden. Svařovat lze konstantním nebo impulzním proudem (při použití impulzního proudu dochází k menšímu tepelnému ovlivnění svařovaného materiálu). Svařování metodou TIG se převážně používá při ručním svařování (díky své jednoduchosti a operativnosti), v dnešní době se dá lehce automatizovat. [13, 14, 15, 16, 17]



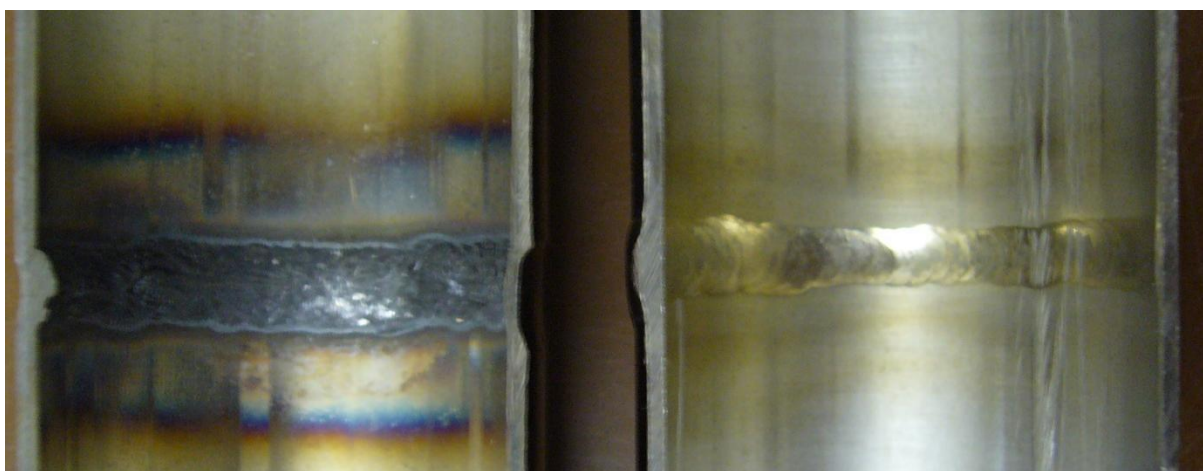
Obr. 11 Princip metody TIG [10]

#### Vliv použití formovacího plynu na kořenovou vrstvu:

Metoda TIG se nejlépe uplatní v potravinářském, chemickém a farmaceutickém průmyslu. V těchto provozech je kladen velký důraz na čistotu, nepropustnost svarů a kvalitu kořenové vrstvy svaru. Proto je nutné během svařování metodou TIG potřeba dbát na dokonalou ochranu svarové housenky ale i kořenové vrstvy svaru, před vzdušným kyslíkem. Pokud by nebyly chráněny, dojde k oxidaci kořene a jeho okolí (viz obr. 12). Takto zhotovený svar by nesplňoval mechanické ani technologické požadavky kladené na výsledný svar (také by narušoval čistotu produktů vedených v trubkách).

Během průběhu svařování je třeba dbát na správný průtok formovacího plynu. Jako formovací plyn se používá směs argonu a vodíku. Při malém průtoku formovacího plynu nebude kořen svaru kvalitně chráněn před vzdušným kyslíkem a dojde k oxidaci kořene. Při velkém průtoku dojde k natlakování formovacího plynu a následnému vyfouknutí nebo vyboulení (viz obr. 13) svarové lázně. Průtok plynu je možno kontrolovat na manometru tlakové láhve nebo pomocí sondy a průtokoměru (viz obr. 15), který měří zbytkový kyslík v ppm. Doporučená hladina pro svařování bez hrozby oxidace kořenové vrstvy je 20 ppm kyslíku.

V případě svařování korozivzdorné oceli EN ISO 1.4571, při použití formovacího plynu směsí argonu a dusíku vzniká v kořenové oblasti svaru vrstva nitridu titanu (viz obr. 14), se svojí typickou slámově žlutou barvou, toto není vyhodnocováno jako chyba formování kořene svaru.



Obr. 12 Srovnání formovaného a neformovaného kořene svaru [1]



Obr. 13 Vyboulení svarové housenky z důsledku velkého průtoku formovacího plynu



Obr. 14 Kořen svaru s vrstvou nitridu titanu



Obr. 15 Průtokoměr Oxy-2; firmy Orbitec [18]

V tabulce 13 je vidět srovnání vneseného tepla při použití různých metod svařování TIG. Při ručním svařování konstantním proudem se dosahuje největšího vneseného tepla. Po aplikování ručního svařování impulsním proudem vnesené teplo klesne přibližně o 25 %.

Použité programy během orbitálního svařování, se liší pouze v prodlevách a délce doby (času) setrvání na základním a impulsním proudu. Z hlediska nejmenšího vneseného tepla vychází nejlépe orbitální metody svařování, a to orbitální svařování programem 1:1 a orbitální svařování programem 1:3. U těchto svařovacích programů je minimální rozdíl ve vneseném teple.

Přestože program Step z hlediska vneseného tepla je nejméně využitelný program, díky svému unikátnímu posuvu (program je nastaven tak, aby posuv přerušil vždy na impulsním proudu a svařovací hlava se pohybuje pouze při základním proudu) zajišťuje stejnou šířku kořenové vrstvy a svarové housenky. Proto je tento program vhodný k použití v potravinářském, chemickém a farmaceutickém průmyslu. [1]

Tab. 13 Srovnání vneseného tepla při použití ručního a orbitálního svařování [1]

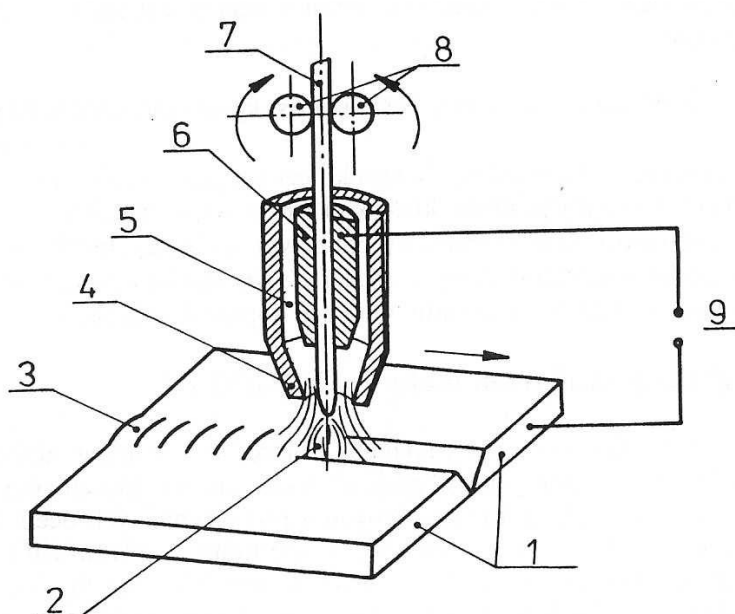
Ruční svařování konstantním proudem	0,3910 kJ/mm
Ruční svařování impulsním proudem	0,3177 kJ/mm
Orbitální svařování programem STEP	0,1732 kJ/mm
Orbitální svařování programem 1:1	0,1034 kJ/mm
Orbitální svařování programem 1:3	0,1030 kJ/mm

## 2.2 Svařování metodou MIG/MAG

Při svařování metodou MIG/MAG (obr. 16) hoří elektrický oblouk mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem v ochranné atmosféře aktivního nebo inertního plynu. Ochranná atmosféra se volí podle druhu svařovaného materiálu, nejčastěji používané plyny jsou argon, oxid uhličitý nebo směsi těchto plynů. Tato metoda umožňuje svařovat jak konstantním, tak impulsním proudem. Přídavný drát je podáván podávacími kladkami umístěnými v podavači nebo v hořáku. Drát je skladován v cívkách o běžné hmotnosti 15 kg.

Svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu MAG patří k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí.

Svařování v ochranné atmosféře inertního plynu MIG získává na důležitosti vlivem růstu objemu konstrukcí, staveb, lodí a dopravních prostředků vyráběných z hliníkových slitin. Hlavními důvody rozšíření metody MIG/MAG jsou: široký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů, snadná možnost mechanizace a robotizace. [13, 14, 15, 16, 17]



Obr. 16 Princip metody MIG/MAG [10]

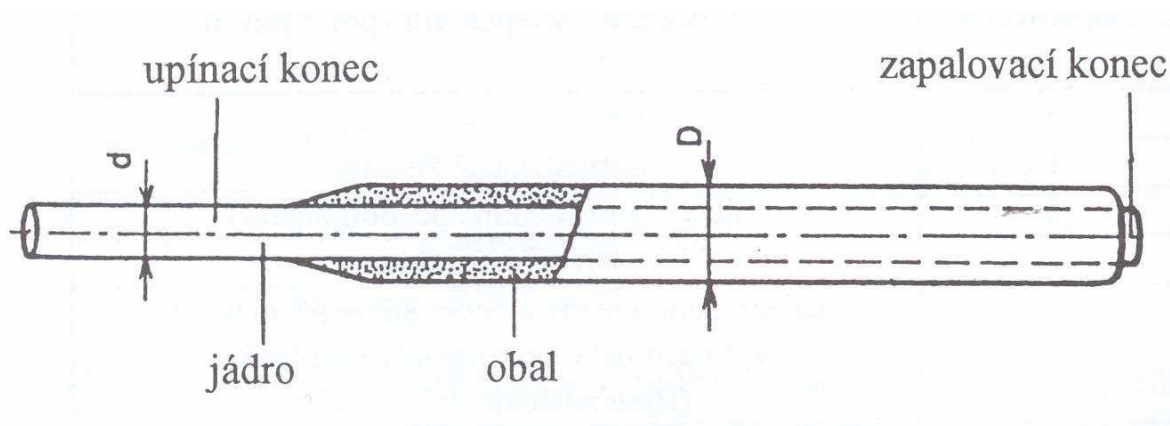
Svařování metodou MIG/MAG ve srovnání se svařováním metodou TIG nebo obalovanou elektrodou vyniká v rychlosti svařování a v množství přidaného materiálu do svaru. Toto umožňuje svařovat materiály o velké tloušťce. Tato metoda je vhodná pro vytváření dlouhých nepřerušovaných svarů, například svařování plášťů tlakových nádrží, nebo tam kde nehrozí nebezpečí kontaktu styku svaru s čistým produktem

Nevýhodou je nemožnost formování kořenu svaru a tím vznik oxidace svaru (vzniklý svar by se musel přebrušovat). Toto zamezuje používání této metody v potravinářském průmyslu.

## 2.3 Svařování obalovanou elektrodou

Svařování obalovanou elektrodou patří mezi jednoduché a mobilní metody svařování. Pro svařování obalovanou elektrodou (na rozdíl od metod TIG a MIG/MAG) není zapotřebí svařovacích plynů, proto se tato metoda využívá při montážních svarech nebo ve špatně přístupných místech. Elektrický oblouk hoří mezi obalovanou elektrodou (obr. 17) a základním materiálem. Obalovaná elektroda se skládá z obalu elektrody a jádra elektrody (jádro elektrody tvoří drát o průměrech 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; a 6,0mm). Obal elektrod má více funkcí:

1. Plynotvorná funkce (při hoření oblouku vznikají z obalu kouře a plyny, které vytvářejí druh ochranné atmosféry a brání přístupu vzdušného kyslíku a dusíku ke svarové lázni, např. celuloza, tepelný rozklad  $\text{CaCO}_3$  na  $\text{CO}_2$  a  $\text{CaO}$ ),
2. Ionizační funkce (slouží v obalu pro usnadnění zapalování a hoření oblouku, např. soli)
3. Metalurgická funkce – rafinace (snížení P a S), desoxidace (snížení  $\text{O}_2$ ) a legování (především prvků náchylných k propalu – Cr, Mo, Ti atd.) [13, 14, 15, 16, 17]



Obr. 17 Obalovaná elektroda [10]

Podle složení obalu rozdělujeme elektrody na:

- stabilizační,
- rutilové
- rutil-celulozové
- rutil-kyselé
- rutil-bazické
- tlustostěnné
- kyselé
- bazické
- celulózové [13, 14, 15, 16, 17]

## Shrnutí

Cílem této diplomové práce je zvolit vhodnou metodu svařování korozivzdorných ocelí a slitin titanu. Výroba zkušebních vzorků z korozivzdorné oceli a slitin titanu. Srovnání metod svařování dle velikosti vneseného tepla a použitých technických plynů. Podrobení vzorků tahové zkoušce. Porovnání makro struktury a mikro struktury svaru.

V kapitole 2 byly popsány používané metody svařování ve firmě Intero Chmelan. Firma Intero Chmelan se svým výrobním portfoliem převážně zaměřuje na potravinářský, farmaceutický, chemický a energetický průmysl. V těchto odvětvích je kladen velký důraz na dokonalý průvar svaru, čistotu svaru (tak aby nedošlo ke kontaminaci media v potrubních systémech od kořene svaru) a dokonalé formování svaru. Tyto podmínky budou považovány jako hlavní body, které musejí být dodržovány při následujícím výběru vhodné metody svařování korozivzdorných ocelí a slitin titanu.

Svařování obalovanou elektrodou je mobilní a jednoduchá metoda. Nemá zapotřebí žádných svářečských plynů. Během svařování obalovaná elektroda odhořívá, a to má za důsledek přerušování svaru a nutnost vybrušování míst napojení (a tím vznik častých chyb ve svaru). Při této metodě nelze formovat kořenovou vrstvu svaru (zoxidovaná kořenová vrstva musí být vybrušena a znovu převařena) proto tato metoda není vhodná v dnešní době pro svařování potrubních systému a dlouhých svaru. Tato metoda nalezne použití při vytváření montážních svaru ve špatně přístupných místech, nebo při svařování přírub (tak aby mohl být kořen svaru přebroušen a převařen).

Svařování metodou MIG/MAG se vyznačuje vysokou rychlostí svařování a ve velkém množství přidaného materiálu do svaru. Tato metoda je vhodná pro svařování dlouhých a nepřerušovaných svaru, také je vhodná pro svařování materiálů o velké tloušťce. Metoda není vhodná pro svařování potrubních systému nebo používání v místech s omezeným přístupem (nutnost použití svařovacích plynů a tuhost svařovací hubice ztěžuje použití této metody). Doporučení: použití této metody při svařování plášťů tlakových nádrží, nebo tam kde nehrozí nebezpečí kontaktu styku svaru s čistým produktem

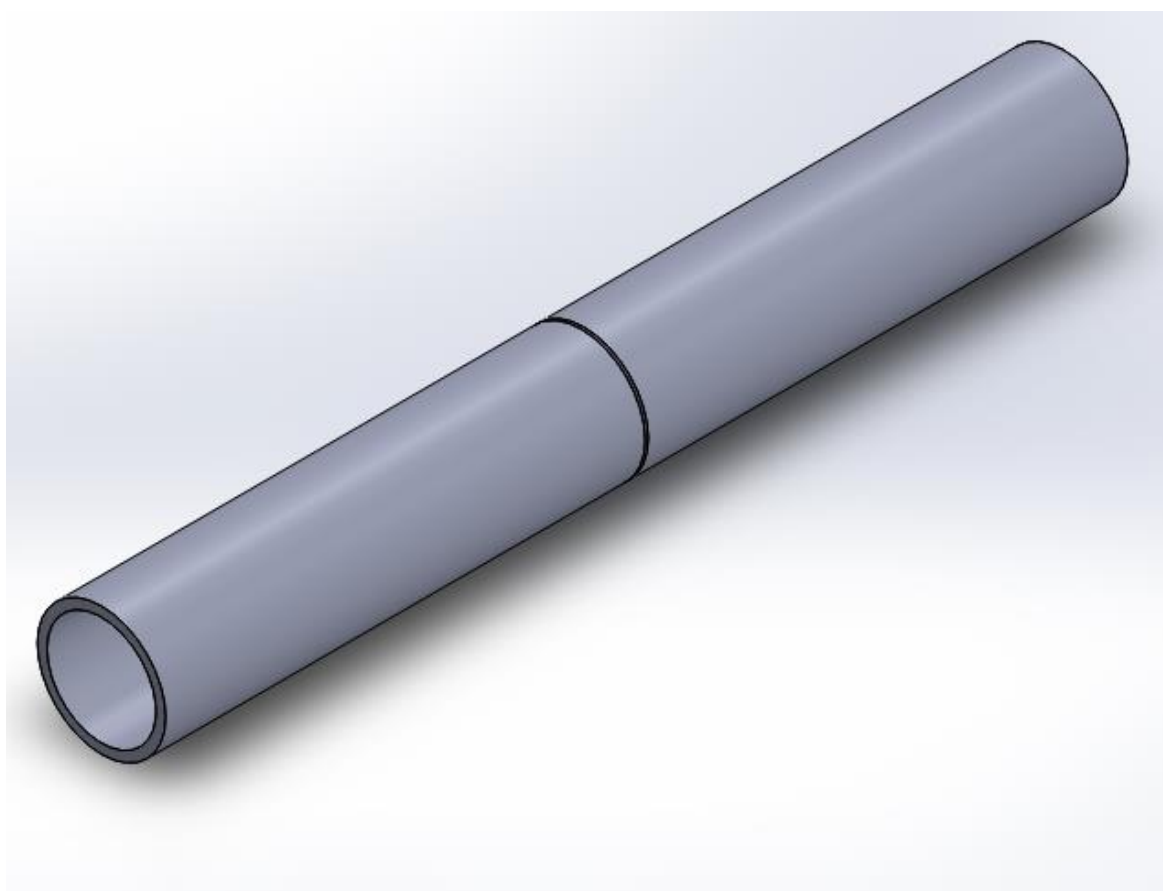
Svařování metodou TIG se vyznačuje malou svařovací rychlostí (oproti metodě MIG/MAG) a velkým vneseným teplem do svaru (zvláště při ručním svařování). Svarová lázeň je čistá, dobře ovladatelná a snadno pozorovatelná. Svarová hubice je ohebná a umožňuje svařovat v méně přístupných místech. Svar lze chránit před účinky vzdušného kyslíku, jak kořenovou vrstvu, tak i povrchovou housenkou, pomocí inertních plynů (nejčastěji argon). Svařovací metoda TIG lze snadno zautomatizovat. Díky těmto přednostem je tato metoda vhodná pro použití v potravinářském, farmaceutickém, chemickém a energetickém průmyslu. Zvláště pro svařování potrubí a jiných popravních cest pro výrobní medium.

Pro provedení experimentu byla vybrána svařovací metoda TIG. Všechny vzorky byly svařeny pomocí orbitálního svařování.



### 3 Provedení experimentu

Pro vyhodnocení parametrů a podmínek svařování, které mají vliv na svařitelnost korozivzdorné oceli a titanové slitiny, byla vybrána jako vzorek trubka materiálu z korozivzdorné oceli EN ISO 1.4571 a slitiny titanu DIN 3.7035 o průměru 40 mm a tloušťce stěny 1,6 mm a 3,0 mm. Dva dílce (obr. 18) trubky o délce 170 mm, byly svařeny natupo s přídavným materiálem ve formě drátu. Trubky byly svařovány metodou TIG, pomocí orbitálního svařování programem STEP.

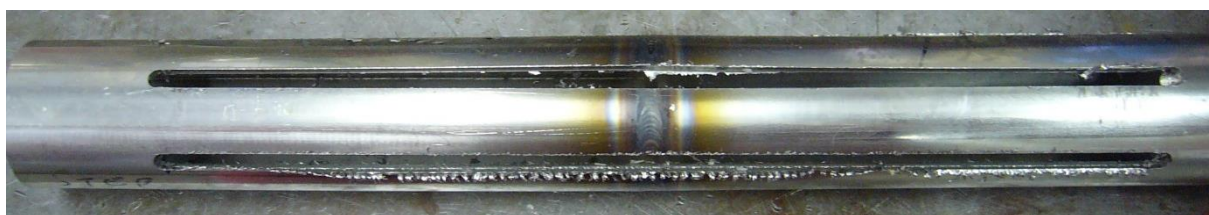


Obr. 18 Vzorek svařované trubky



### 3.1 Výroba vzorků

Po svaření vzorků, bylo nutné z těchto dílců vyříznout dva pásy, které budou podrobeny tahové zkoušce, která umožní srovnat výsledné mechanické vlastnosti svařených vzorků. Do svařených trubek o délce 340 mm byly vyfrézovány drážky o délce 300 mm (obr.19) konce trubek byly poté odříznuty na orbitální kotoučové pile tak aby vznikly vzorky ve tvaru pásků šířky 20 mm (obr. 20). Operace frézování (obr.21), byla zvolena proto aby byla zachována stejná šířka vzorků po celé jeho délce. Aby nedocházelo k tepelnému ovlivnění vzorků během obrábění musel být chlazen procesní kapalinou. Konce pásků byly ručně narovnány pod lisem, protože rádius trubky by zabraňoval upnutí do kleštiny v hydraulickém zkušebním stroji ZD40.



Obr. 19 Vzorek z korozivzdorné ocele EN ISO 1.4571 po frézování drážek



Obr. 20 Vzorek z korozivzdorné ocele EN ISO 1.4571 po trhací zkoušce



Obr. 21 Operace frézování vzorků

Dále bylo vyříznuto z každého sváru po dvou vzorcích, ve tvaru čtverce, na metalografické pile (obr.22). Tyto vzorky byly dále broušeny na metalografické brusce (obr. 23) a leptány. Takto zhotovené vzorky, poslouží pro porovnání povrchové struktury svaru.



Obr. 22 Metalografická pila



Obr. 23 Metalografická bruska

### 3.2 Výpočet vneseného tepla

Pro vyhodnocení vhodných parametrů svařování metodou TIG z hlediska vneseného tepla, bylo vybráno dohromady sedm vzorků o tloušťce stěny materiálu 1,6 a 3,0 mm, které byly svařeny pomocí orbitálního svařování, programem STEP. Všechny vzorky byly svařeny s přídavným drátem stejného složení jako základní materiál.

1. Základní materiál slitina titanu DIN 3.7035. Svařovací plyn helium. Vnější i vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm
2. Základní materiál slitina titanu DIN 3.7035. Svařovací plyn Argon. Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm
3. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn helium. Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm
4. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn argon. Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm
5. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn helium Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 3,0 mm
6. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn směs helia a argonu (50 % Ar + 50 % He). Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 3,0 mm
7. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn argon. Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 3,0 mm

Vzorek č. 1 - Základní materiál slitina titanu DIN 3.7035. Svařovací plyn helium. Vnější i vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm

Tab. 14 Zadané hodnoty pro vzorek č. 1:

$\eta$ [-]	U [V]	$I_l$ [A]	$I_z$	$V_s$ [mm/s]
0,6	7,4	30	9	0,7515

$$Q_l = \eta \cdot \frac{U \cdot I_l}{10^3 \cdot V_s} [3] \quad (1.1)$$

$$Q_l = 0,6 \cdot \frac{7,4 \cdot 30}{10^3 \cdot 0,7515} = 0,1772 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_z = \eta \cdot \frac{U \cdot I_z}{10^3 \cdot V_s} [3] \quad (1.2)$$

$$Q_z = 0,6 \cdot \frac{7,4 \cdot 9}{10^3 \cdot 0,7515} = 0,0532 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_c = \frac{Q_I + Q_Z}{2} \quad (1.3)$$

$$Q_c = \frac{0,0532 + 0,1772}{2} = 0,1152 \text{ kJ/mm}$$

$Q_c$  = vnesené teplo celkové [kJ/mm]

$Q_i$  = vnesené teplo impulsního proudu [kJ/mm]

$Q_z$  = vnesené teplo základního proudu [kJ/mm]

$\eta$  = účinnost přenosu tepla [-]

$U$  = svařovací napětí [V]

$I_z$  = svařovací základní proud [A]

$I_p$  = svařovací impulzní proud [A]

$V_s$  = svařovací rychlost [mm/s]

Vzorek č. 2 - Základní materiál slitina titanu DIN 3.7035. Svařovací plyn Argon. Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm

Tab. 15 Zadané hodnoty pro vzorek č. 2:

$\eta$ [-]	$U$ [V]	$I_I$ [A]	$I_z$	$V_s$ [mm/s]
0,6	7,4	47	15	0,7515

$$Q_I = \eta \cdot \frac{U \cdot I_I}{10^3 \cdot V_s} [3] \quad (1.4)$$

$$Q_I = 0,6 \cdot \frac{7,4 \cdot 47}{10^3 \cdot 0,7515} = 0,2777 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_Z = \eta \cdot \frac{U \cdot I_Z}{10^3 \cdot V_s} [3] \quad (1.5)$$

$$Q_I = 0,6 \cdot \frac{7,4 \cdot 15}{10^3 \cdot 0,7515} = 0,0886 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_c = \frac{Q_I + Q_Z}{2} \quad (1.6)$$

$$Q_c = \frac{0,0886 + 0,2777}{2} = 0,1832 \text{ kJ/mm}$$

Vzorek č. 3 - Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn helium.  
Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm

Tab. 16 Zadané hodnoty pro vzorek č. 3:

$\eta$ [-]	U [V]	$I_I$ [A]	$I_Z$	$V_s$ [mm/s]
0,6	7,4	36	11	0,7405

$$Q_I = \eta \cdot \frac{U \cdot I_I}{10^3 \cdot V_s} [3] \quad (1.7)$$

$$Q_I = 0,6 \cdot \frac{7,4 \cdot 36}{10^3 \cdot 0,7405} = 0,2159 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_Z = \eta \cdot \frac{U \cdot I_Z}{10^3 \cdot V_s} [3] \quad (1.8)$$

$$Q_Z = 0,6 \cdot \frac{7,4 \cdot 11}{10^3 \cdot 0,7405} = 0,0660 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_c = \frac{Q_I + Q_Z}{2} \quad (1.9)$$

$$Q_c = \frac{0,0660 + 0,2159}{2} = 0,1400 \text{ kJ/mm}$$

Vzorek č. 4 - Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn argon.  
Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm

Tab. 17 Zadané hodnoty pro vzorek č. 4:

$\eta$ [-]	U [V]	$I_I$ [A]	$I_Z$	$V_s$ [mm/s]
0,6	7,4	48	15	0,7405

$$Q_I = \eta \cdot \frac{U \cdot I_I}{10^3 \cdot V_s} [3] \quad (1.11)$$

$$Q_I = 0,6 \cdot \frac{7,4 \cdot 48}{10^3 \cdot 0,7405} = 0,2878 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_Z = \eta \cdot \frac{U \cdot I_Z}{10^3 \cdot V_s} [3] \quad (1.12)$$

$$Q_Z = 0,6 \cdot \frac{7,4 \cdot 15}{10^3 \cdot 0,7405} = 0,0899 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_c = \frac{Q_I + Q_Z}{2} \quad (1.13)$$

$$Q_c = \frac{0,0899 + 0,2878}{2} = 0,1889 \text{ kJ/mm}$$

Vzorek č. 5 - Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn helium  
Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 3,0 mm

Tab. 18 Zadané hodnoty pro vzorek č. 5:

$\eta$ [-]	U [V]	$I_l$ [A]	$I_z$	$V_s$ [mm/s]
0,6	7,4	81	26	0,6845

$$Q_l = \eta \cdot \frac{U \cdot I_l}{10^3 \cdot V_s} [3] \quad (1.14)$$

$$Q_l = 0,6 \cdot \frac{7,4 \cdot 81}{10^3 \cdot 0,6845} = 0,5254 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_z = \eta \cdot \frac{U \cdot I_z}{10^3 \cdot V_s} [3] \quad (1.15)$$

$$Q_z = 0,6 \cdot \frac{7,4 \cdot 26}{10^3 \cdot 0,6845} = 0,1686 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_c = \frac{Q_l + Q_z}{2} \quad (1.16)$$

$$Q_c = \frac{0,1686 + 0,5254}{2} = 0,3470 \text{ kJ/mm}$$

Vzorek č. 6 - Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn směs helia  
a argonu (50 % Ar + 50 % He). Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 3,0 mm

Tab. 19 Zadané hodnoty pro vzorek č. 6:

$\eta$ [-]	U [V]	$I_l$ [A]	$I_z$	$V_s$ [mm/s]
0,6	7,4	96	30	0,6872

$$Q_l = \eta \cdot \frac{U \cdot I_l}{10^3 \cdot V_s} [3] \quad (1.17)$$

$$Q_l = 0,6 \cdot \frac{7,4 \cdot 96}{10^3 \cdot 0,6872} = 0,6138 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_z = \eta \cdot \frac{U \cdot I_z}{10^3 \cdot V_s} [3] \quad (1.18)$$



$$Q_z = 0,6 \cdot \frac{7,4 \cdot 30}{10^3 \cdot 0,6872} = 0,1938 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_c = \frac{Q_I + Q_z}{2} \quad (1.19)$$

$$Q_c = \frac{0,1938 + 0,6138}{2} = 0,4038 \text{ kJ/mm}$$

Vzorek č. 7 - Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn argon.  
Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 3,0 mm

Tab. 20 Zadané hodnoty pro vzorek č. 7:

$\eta$ [-]	U [V]	$I_I$ [A]	$I_z$	$V_s$ [mm/s]
0,6	7,4	104	33	0,6872

$$Q_I = \eta \cdot \frac{U \cdot I_I}{10^3 \cdot V_s} [3] \quad (1.21)$$

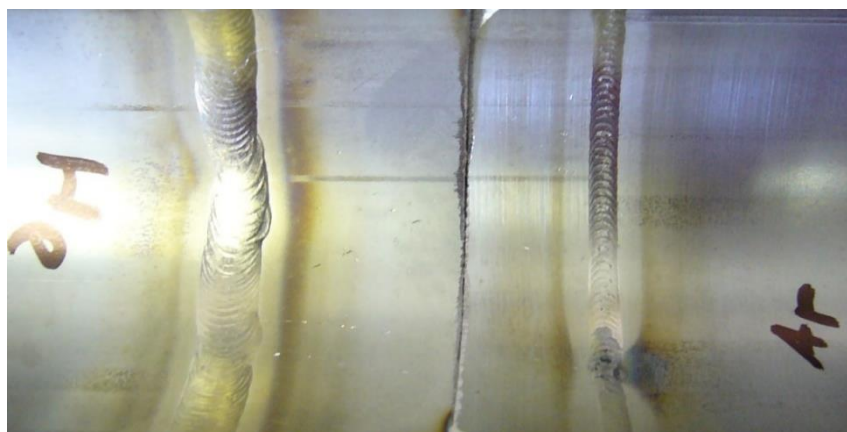
$$Q_I = 0,6 \cdot \frac{7,4 \cdot 104}{10^3 \cdot 0,6872} = 0,6719 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_z = \eta \cdot \frac{U \cdot I_z}{10^3 \cdot V_s} [3] \quad (1.22)$$

$$Q_z = 0,6 \cdot \frac{7,4 \cdot 33}{10^3 \cdot 0,6872} = 0,2132 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_c = \frac{Q_I + Q_z}{2} \quad (1.23)$$

$$Q_c = \frac{0,2132 + 0,6719}{2} = 0,4426 \text{ kJ/mm}$$



Obr. 24 Srovnání šířky svaru při použití helia (vlevo) a argonu (vpravo) při použití stejných svařovacích proudů

Tab. 21 Shrnutí výsledného vneseného tepla:

Vzorek č. 1 slitina titanu DIN 3.7035, Svařovací plyn helium	0,1152 kJ/mm
Vzorek č. 2 slitina titanu DIN 3.7035, Svařovací plyn argon	0,1832 kJ/mm
Vzorek č. 3 korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn helium	0,1400 kJ/mm
Vzorek č. 4 korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn argon	0,1889 kJ/mm
Vzorek č. 5 korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn helium	0,3470 kJ/mm
Vzorek č. 6 korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn směs helium/argon	0,4038 kJ/mm
Vzorek č. 7 korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn argon	0,4426 kJ/mm

#### Shrnutí:

V tabulce 21 je vidět srovnání vneseného tepla při použití orbitálního svařování, programem STEP, za použití technických plynů – helia, argonu a jejich směsí.

Z hlediska vneseného tepla, dosahuje nejlepších výsledků helium. Helium díky velké tepelné vodivosti umožňuje snižovat svařovací proud na minimum a tím přímo snižuje mechanické namáhání vnesené do základního materiálu. Nejmenšího vneseného tepla, bylo dosaženo při svařování slitiny titanu DIN 3.7035 při použití vnějšího i vnitřního formování svaru. Díky novému způsobu formování (vnější i vnitřní formování svaru) mohl být svařovací proud snížen o 35 % oproti předchozím postupům svařování, kdy se formoval pouze kořen svaru za použití argonu. Avšak při použití helia jako svařovacího plynu během svařování hrozí nedostatečné formování svaru a vznik oxidů (helium kvůli své nízké hustotě může unikat z potřebného místa – tomuto se dá zabránit dostatečným průtokem plynu).

Směsí helium+ argon se relativně dobře formuje svar (při použití čistého helia je problém s jeho nízkou hustotou, a tudíž nedostatečným formování svaru a vzniku oxidů) a má větší tepelnou vodivost než čistý argon – proto mohl být svařovací proud snížen o 10 % oproti svařování, kdy se používal argon.

Při použití argonu jako svařovacího plynu při svařování bylo dosaženo největšího vneseného tepla do základního materiálu. Toto je způsobeno malou tepelnou vodivostí argonu, a proto musel být svařovací proud značně větší než u ostatních použitých technických plynů. Při použití argonu jako svařovacího plynu nehrozí nedostatečné formování svaru a vzniku oxidů.



### 3.3 Tahové zkoušky vzorku

Tahové zkoušky svařených vzorků probíhaly na hydraulickém zkušebním stroji ZD40 (viz. příloha 5).

Pro vyhodnocení vhodných parametrů svařování metodou TIG z hlediska dosahovaných mechanických vlastností bylo vybráno dohromady devět vzorků o tloušťce stěny materiálu 1,6 a 3,0 mm, které byly svařeny pomocí orbitálního svařování, programem STEP. Všechny vzorky byly svařeny s přídavným drátem stejného složení jako základní materiál.

1. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn helium. Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 3,0 mm
2. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn směs helia a argonu (50 % Ar + 50 % He). Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 3,0 mm
3. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn argon. Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 3,0 mm
4. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn helium. Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 3,0 mm
5. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn Argon. Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm
6. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Svařovací plyn helium. Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm
7. Základní materiál slitina titanu DIN 3.7035. Svařovací plyn helium. Vnější i vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm
8. Základní materiál slitina titanu DIN 3.7035. Svařovací plyn Argon. Vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm
9. Základní materiál slitina titanu DIN 3.7035. Svařovací plyn helium. Vnější i vnitřní formování svaru. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm

Protože při svařování vzorku č. 4 (korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571) bylo použito helia jako svařovacího plynu, mohl být snížen svařovací proud o 25 % oproti svařování kdy bylo použito argonu jako svařovacího plynu. Při svařování vzorku č. 9 (slitina titanu DIN 3.7035) mohl být při použití helia svařovací proud snížen až o 35 % oproti staré technologii svařování za pomoci argonu jako svařovacího plynu.

Tab. 22 Srovnání mechanických vlastností svařených vzorků. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Tloušťka stěny materiálu 3,0 mm

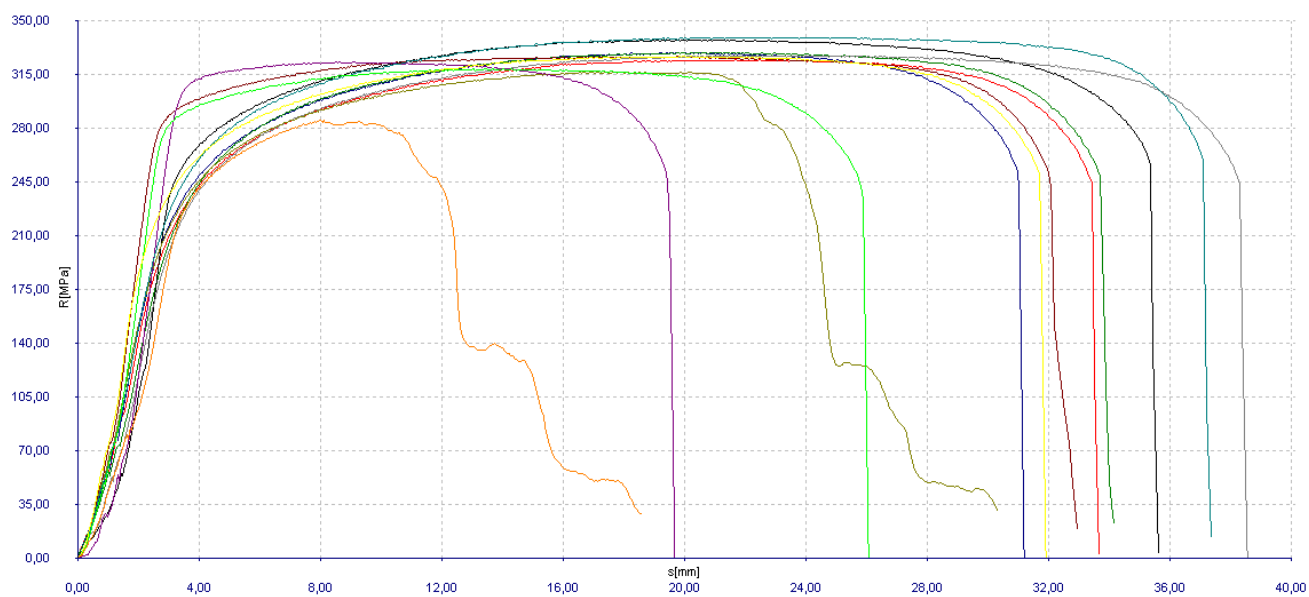
Vzorek	F [N]	Rp 0,2 [Mpa]	Rm [Mpa]	A [%]
1_1	33 871,60	372,15	573,59	22,50
1_2	36 232,00	396,19	613,56	25,00
2_1	31 991,20	369,44	541,75	12,50
2_2	34 200,80	382,82	579,16	15,00
3_1	32 762,00	365,78	554,80	22,50
3_2	31 972,40	348,58	541,43	15,00
4_1	33 956,40	386,80	575,03	18,75
4_2	32 452,00	362,75	549,55	23,75

Tab. 23 Srovnání mechanických vlastností svařených vzorků. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm

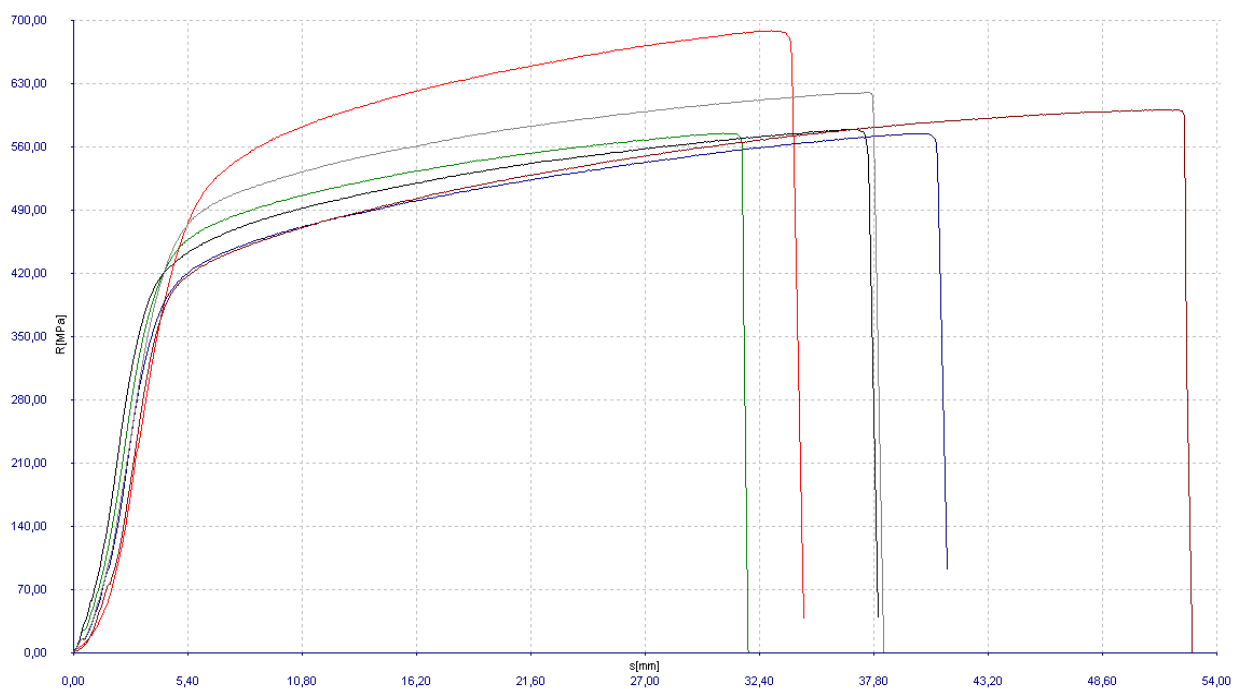
Vzorek	F [N]	Rp 0,2 [Mpa]	Rm [Mpa]	A [%]
5_1	21 910,40	385,30	584,46	18,75
5_2	18 280,40	382,30	574,78	21,25
6_1	18 299,20	404,78	575,37	18,75
6_2	18 421,60	397,38	579,22	20,00

Tab. 24 Srovnání mechanických vlastností svařených vzorků. Základní materiál slitina titanu DIN 3.7035. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm

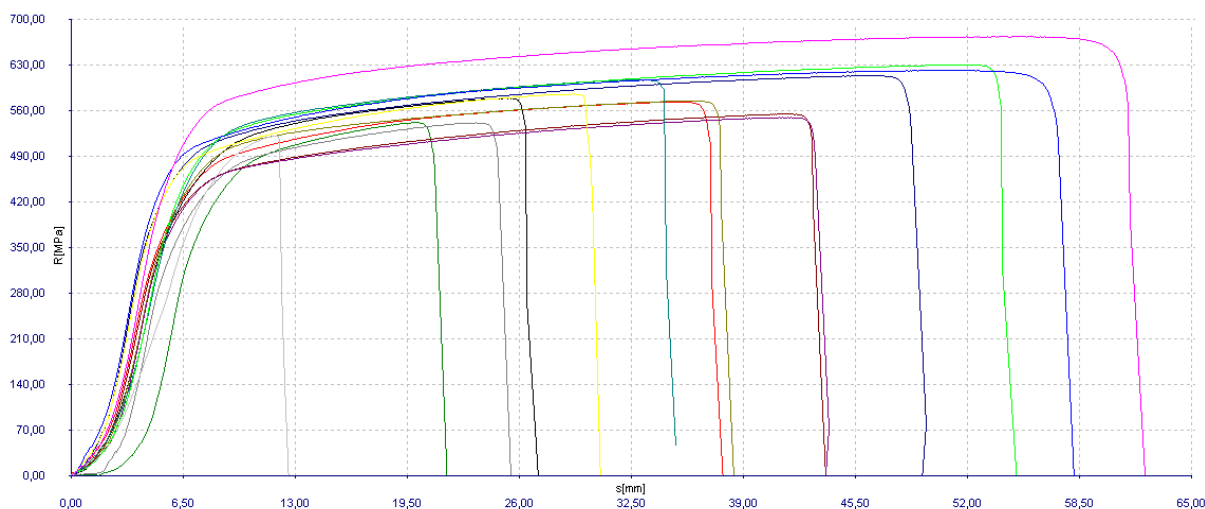
Vzorek	F [N]	Rp 0,2 [Mpa]	Rm [Mpa]	A [%]
7_1	10 024,00	221,94	324,54	21,25
7_2	10 165,20	226,50	329,11	21,25
8_1	10 165,20	228,95	329,11	22,50
8_2	10 428,40	260,61	337,63	22,50
9_1	10 090,00	287,71	326,67	28,75
9_2	10 108,80	226,81	327,28	26,25



Obr. 25 Výsledné grafy tahových zkoušek svařených vzorků. Základní materiál slitina titanu DIN 3.7035.



Obr. 26 Výsledné grafy tahových zkoušek svařených vzorků. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm



Obr. 27 Výsledné grafy tahových zkoušek svařených vzorků. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Tloušťka stěny materiálu 3,0 mm

#### Shrnutí:

V kapitole 3.2 byly porovnány různé parametry při svařování metodou TIG z hlediska vneseného tepla. Bylo zjištěno, že nejvíce vneseného tepla se dosahuje při použití argonu jako svařovacího plynu a nejméně vneseného tepla se dosahuje při použití helia jako svařovacího plynu. Po provedení tahových zkoušek svařovaných vzorků, byla zjištěna nepřímá úměra u korozivzdorné oceli EN ISO 1.4571 mezi vneseným teplem do základního materiálu a mechanickými vlastnostmi svařovaných vzorků. Tato nepřímá úměra se více projevuje u vzorků s tloušťkou stěny materiálu 3,0 mm (viz tab. 22) než u vzorků s tloušťkou stěny materiálu 1,6 mm (viz tab. 23). Logicky toto vyplývá z nutnosti většího svařovacího proudu pro provaření tlustší stěny materiálu.

Tato nepřímá úměra se neprojevuje u materiálu slitiny titanu DIN 3.7035. Rozdíly v mechanických vlastnostech mezi použitím argonu a helia jako svařovacího plynu jsou minimální (viz tab. 24). Nepřímá úměra (stejně jako u materiálu slitiny titanu DIN 3.7035) se výrazně neprojevuje u korozivzdorné oceli EN ISO 1.4571, u vzorků s tloušťkou stěny materiálu 1,6 mm (viz tab. 23), z toho lze usuzovat, že pokud by se svařovaly slitiny titanu DIN 3.7035 s větší tloušťkou stěny, projevíly by se značné rozdíly v dosažených mechanických vlastnostech a mělo by význam rozlišovat použité svařovací plyny.

### 3.4 Výsledná struktura svaru

Pozorování výsledné struktury svaru probíhalo na stereomikroskopu Schut SSM-E. Jako vzorky pro pozorování výsledné struktury svaru byly vybrány materiály korozivzdorné oceli EN ISO 1.4571 a slitiny titanu DIN 3.7035

#### Tepelně ovlivněná oblast

Tepelně ovlivněná oblast u korozivzdorných ocelí je daleko menší než tepelně ovlivněná oblast u titanových slitin. Na obr. 28 jsou vidět tepelně ovlivněné oblasti korozivzdorné oceli EN ISO 1.4571 a na obr. 29 jsou vidět tepelně ovlivněné oblasti slitiny titanu DIN 3.7035. Toto je způsobeno větší tepelnou vodivostí titanových slitin. Na obr.29 můžeme pozorovat pouhým okem zhrubnutí zrna slitiny titanu DIN 3.7035



Obr. 28 Tepelně ovlivněné oblasti korozivzdorné oceli EN ISO 1.4571

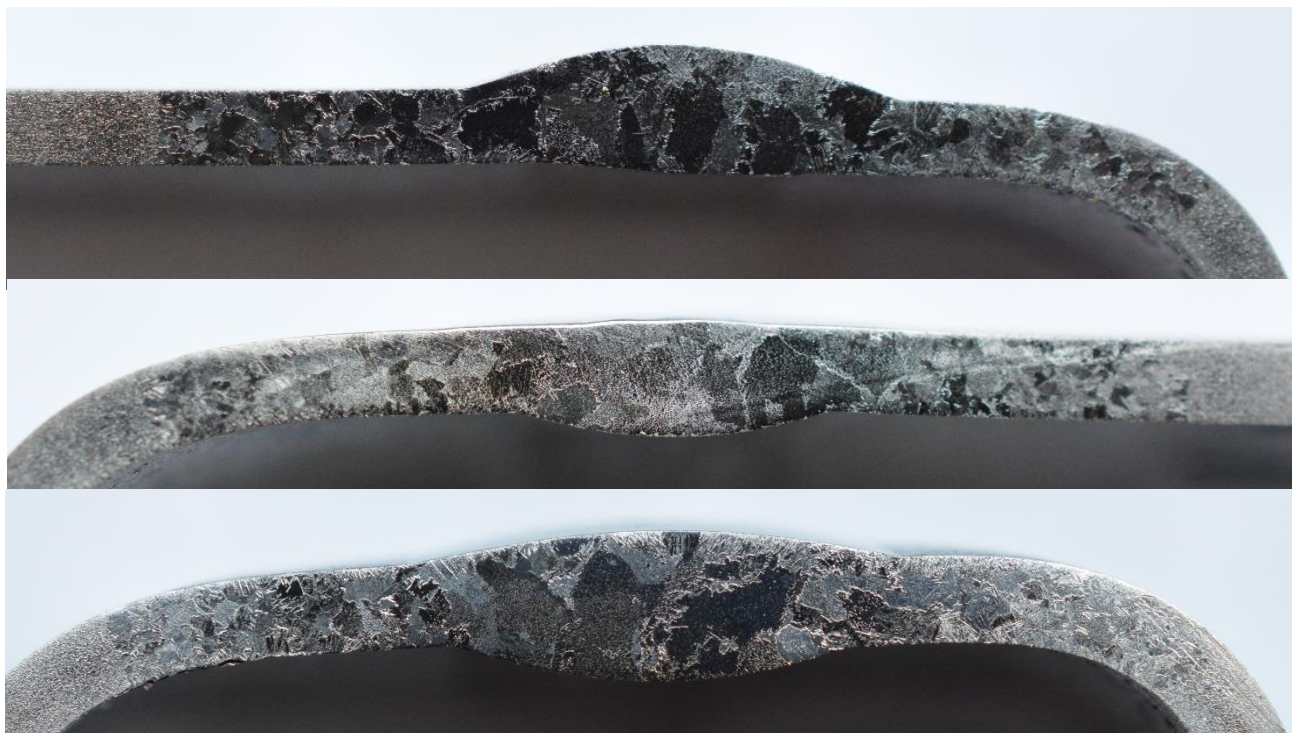
#### Hloubka a tvar průvaru:

Dále můžeme pozorovat, jaký vliv mají svařovací plyny na hloubku a tvar průvaru. Na obr. 28 nahoře je vidět průvar svaru z korozivzdorné oceli EN ISO 1.4571 vytvořeného pomocí svařovacího plynu argonu a formovacího plynu směsi argonu a vodíku. Na obr. 28 dole je vidět průvar svaru vytvořeného pomocí svařovacího plynu helia.

Na obr. 29 jsou vidět průvary svaru na vzorku ze slitiny titanu DIN 3.7035. Nahoře je vidět svar vytvořený pomocí svařovacího plynu argonu, ve střední části obrázku je svar vytvořený pomocí svařovacího plynu helia a v dolní části obrázku je průvar svaru vytvořený za pomoci svařovacího plynu směsi argonu a helia (jsou použity stejné formovací plyny jako svařovací plyny).

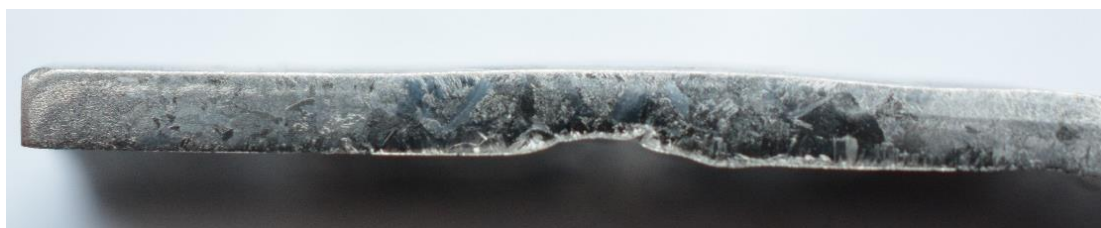
Z pozorování hloubky a tvaru průvaru svaru lze vyvodit, že hlubších průvarů lze dosáhnout při použití svařovacího plynu helia (toto je způsobeno větší tepelnou vodivostí plynu). Při použití svařovacího plynu argonu vzniká typický vyboulený tvar svařovací housenky. Při

použití svařovacího plynu směsi argonu a helia dosáhneme čočkovitého tvaru výsledného průvaru svaru.



Obr. 29 Tepelně ovlivněné oblasti slitiny titanu DIN 3.7035

Při svařování slitin titanu je nutné vhodně zvolit formovací plyn. Formovací plyn pro ochranu kořenné vrstvy svaru musí být o velké čistotě a bez příměsí ohrožující výslednou čistotu svarového spoje. Na obr. 30 je vidět důsledek použití špatného formovacího plynu při svařování slitiny titanu DIN 3.7035 (v tomto případě byl použit formovací plyn pro korozivzdorné oceli směs argonu a vodíku).



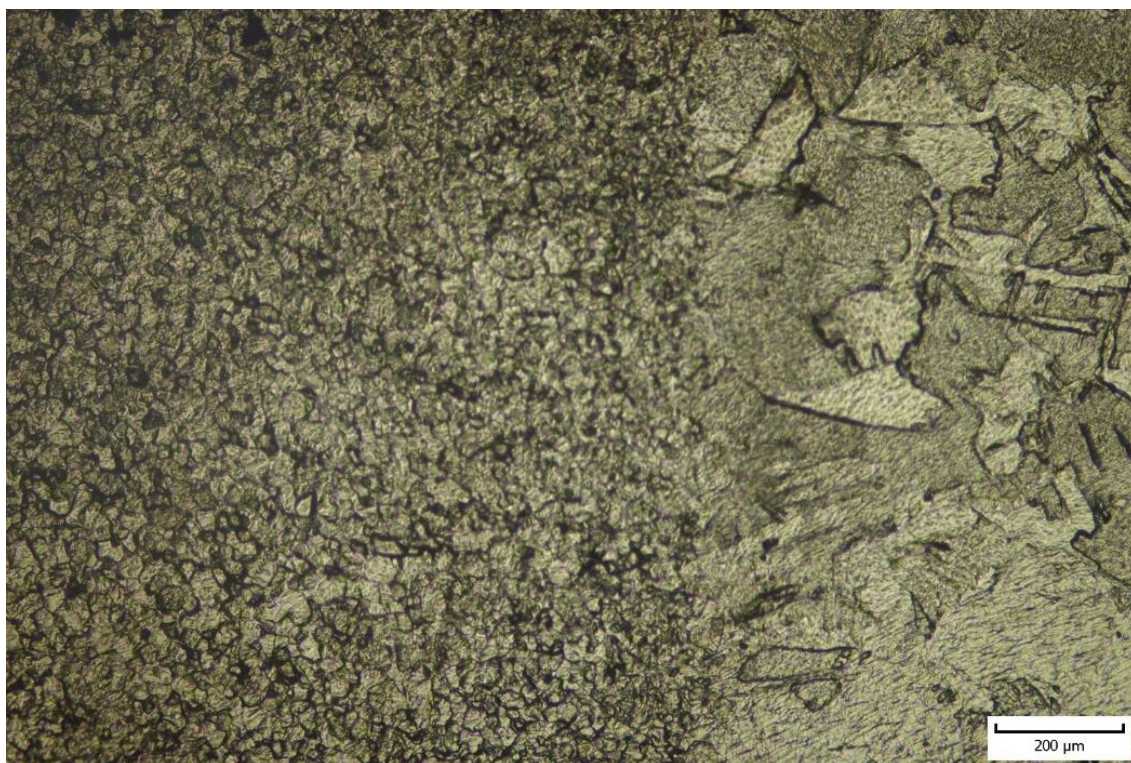
Obr. 30 Tepelně ovlivněná oblast a špatně formovaný kořen svaru slitiny titanu DIN 3.7035

#### Mikroskopické pozorování:

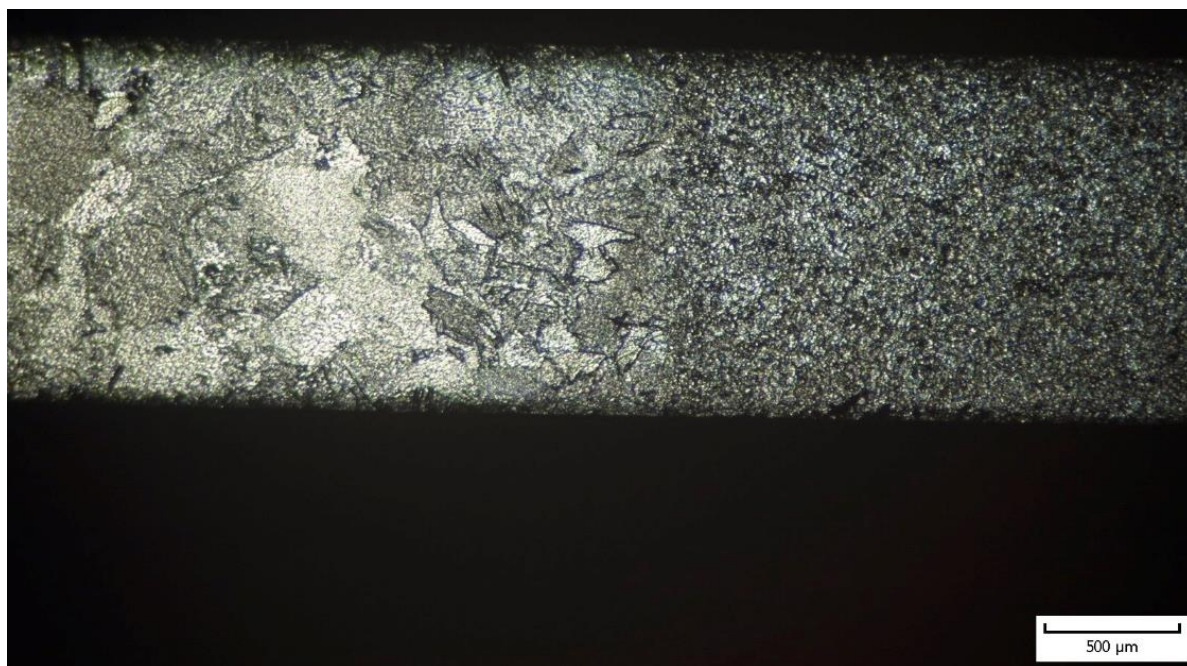
Pro mikroskopické pozorování byly vzorky připraveny standardním metalografickým postupem. Ze svařených vzorků byly vyřezány díly s využitím metalografické pily. Následně byly vzorky ručně broušeny na metalografické brusce pomocí brusných papírů různé jemnosti zrna při použití vodního chlazení. Pro zviditelnění struktury materiálu byly povrchy vzorků naleptány leptadlem vhodným pro korozivzdorné oceli a titanové slitiny. Tímto způsobem připravené metalografické výbrusy byly pozorovány a zdokumentovány při různých zvětšeních s využitím světelného mikroskopu Olympus PMG-3.



Na následujících obrázcích jsou zdokumentovány výsledky pozorování mikrostruktury vzorků:

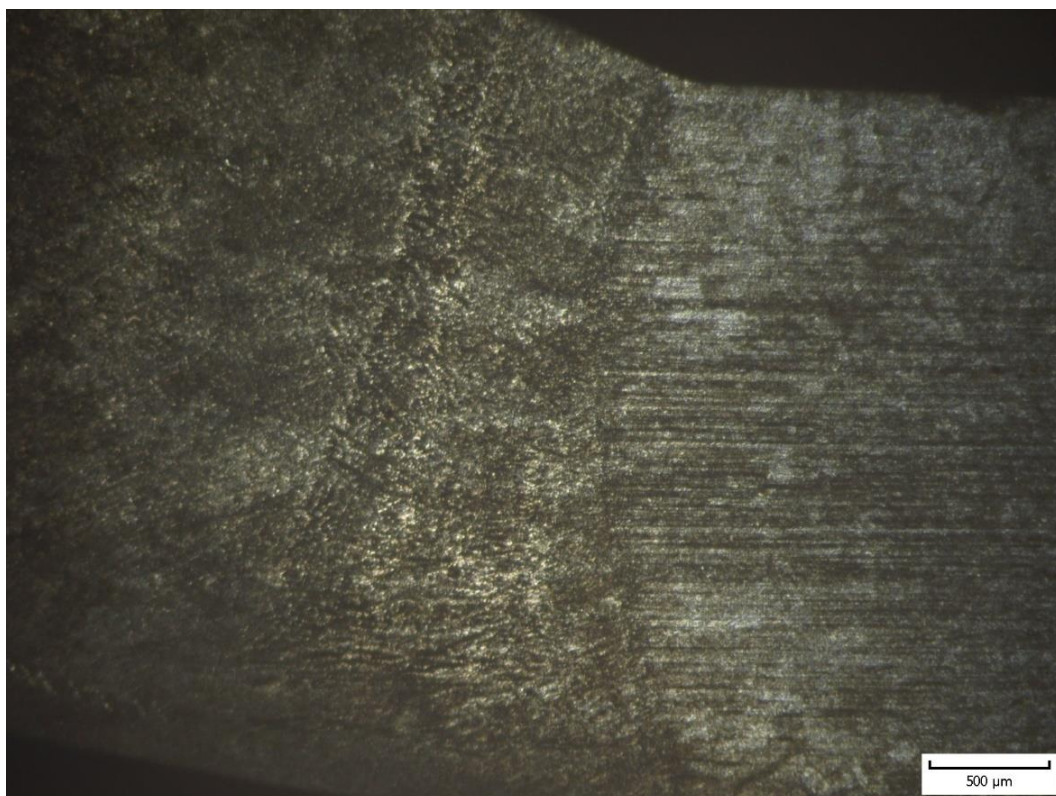


Obr. 31 Přejchod mezi tepelně ovlivněnou oblastí a tepelně neovlivněným materiálem titanové slitiny DIN 3.7035 zvětšení 20x

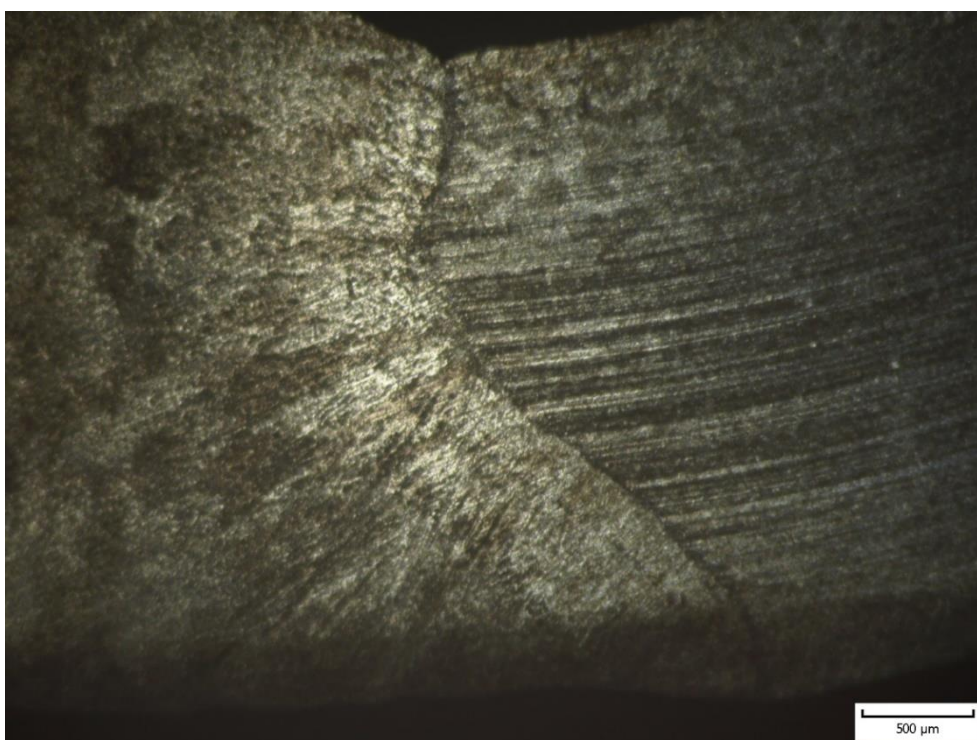


Obr. 32 Přejchod mezi tepelně ovlivněnou oblastí a tepelně neovlivněným materiálem titanové slitiny DIN 3.7035 zvětšení 10x





Obr. 33 Přejchod mezi tepelně ovlivněnou oblastí a tepelně neovlivněným materiálem korozivzdorné oceli EN ISO 1.4571 zvětšení 10x



Obr. 34 Přejchod mezi tepelně ovlivněnou oblastí a tepelně neovlivněným materiálem korozivzdorné oceli EN ISO 1.4571 zvětšení 10x



Na obr. 31 a obr. 32 je vidět přechod mezi tepelně ovlivněnou oblastí a tepelně neovlivněným materiálem titanové slitiny DIN 3.7035 a silné zhrubnutí zrna. Toto je způsobeno v tepelnou vodivostí titanových slitin.

Na obr. 33 a obr. 34 je vidět přechod mezi tepelně neovlivněným materiálem (válcovaná část, kde je vidět směr válcování – pravá část) tepelně ovlivněnou oblastí (vznik dendritické struktury a vznik delta feritu – vlevo)

Kvalitní svary by měli být vytvořeny, aby byly ve směru válcování, méně vyhovující jsou spoje orientované kolmo na směr válcování.

## 4 Technicko ekonomické hodnocení

Pro ekonomické hodnocení technologických postupu, při svařování metodou TIG korozivzdorných ocelí a slitin titanu byly vybrány tyto faktory:

1. Pořizovací hodnota
2. Sériovost
3. Náklady na technické plyny

### Pořizovací hodnota:

Při pořizování nové technologie je vždy nutné zvážit její nutnost pořízení a návratnost ve výrobě. Ruční svařování oproti orbitálnímu má univerzálnější využití. Při ručním svařování nejsme omezeni velikostí výrobku ani jeho tvarem (orbitální svařování je omezeno velikostí svařovací hlavy) a umožňuje vytvářet svary v méně přístupných polohách (tzv. montážní svary). Orbitální svařování vnáší do základního materiálu menší vnesené teplo (svar má tudíž lepší výsledné mechanické vlastnosti oproti ručnímu svařování), nedochází ke kolísání vzdálenosti elektrického oblouku, můžeme se svařovat většími svařovacími rychlostmi a není za potřebí zkušené obsluhy.

I přes velkou počáteční investici a malou univerzálnost se orbitální svařování stalo nenahraditelnou technologií při svařování korozivzdorných ocelí a titanových slitin v potravinářském, farmaceutickém, energetickém a chemickém průmyslu. Převážné využití orbitální svařování najde, hlavně při svařování dlouhých a přímých trubkovodů pro různá media.

Tab. 25 Porovnání pořizovacích nákladů metod TIG [1, 2]

Ruční svařování	Orbitální svařování
101 843 Kč – svařovací zdroj	298 370 Kč – svařovací zdroj, řídicí jednotka
	222 560 Kč – svařovací hlava
	16 990 Kč – bruska na wolframové jehly
	64 880 Kč – průtokoměr Oxy-2
Celkem: 101 843 Kč	Celkem: 602 200 Kč

## Sériovost

Svařovací časy byly stopovány při svařování trubek průměru 40 mm. Cena práce je stanovena podle cen firmy Intero Chmelan.

Tab. 26 Porovnání sériovosti metod TIG [1, 2]

	Cena ručního svařování	Cena orbitálního svařování	Výrobní čas za použití ručního svařování	Výrobní čas za použití orbitálního svařování
1 ks	33 Kč	40 Kč	3,25 [min]	2 [min]
10 ks	330 Kč	400 Kč	33 [min]	20 [min]
100 ks	3 300 Kč	3 960 Kč	5,5 [hod]	3,3 [hod]
1000 ks	32 400 Kč	39 960 Kč	54 [hod]	33,3 [hod]

Velké pořizovací náklady na technologii orbitálního svařování se přenáší do nákladů na výrobu (orbitální svařování je pro zákazníka dražší technologie než ruční svařování). Orbitální svařování oproti ručnímu, umožňuje svařovat velkou svařovací rychlostí má konstantní kvalitu svaru a reprodukovatelnost. Toto se kladně projevuje při velkých sériích, kdy je tato metoda schopna vyrobit stejnou sérii za takřka poloviční čas a lepších výsledných mechanických vlastností svaru. Orbitální svařování ztrácí tuto výhodu u kusové výroby.

## Náklady na technické plyny:

Při svařování korozivzdorných ocelí je možné používat jako svařovací plyn argon o čistotě 4.6 a formovací plyn směs argonu a vodíku. Toto značně zlevňuje svařování korozivzdorných ocelí oproti svařování slitin titanu.

Při svařování slitin titanu je nutné používat svařovací plyny i formovací plyny o vysoké čistotě (min. 4.8). Formovací plyn se směsí argon a vodík nelze použít kvůli velké afinitě titanu k vodíku. Při použití helia jako svařovacího plynu je možné snížit svařovací proud oproti argonu až o 35 % a tím snížit vnesené teplo a zlepšit výsledné mechanické vlastnosti svaru. Použitím helia je také možné dosahovat vyšších svařovacích rychlostí, a tudíž i větší sériovosti. Při použití helia jako svařovacího a formovacího plynu je nutné (v důsledku jeho malé hmotnosti) používat větší průtok plynu (v porovnání s argonem je nezbytné nastavovat dvakrát větší průtok plynu). Toto s ohledem na cenu helia omezuje jeho použití při svařování slitin titanu.

Při použití argonu během svařování slitin titanu se používá argon o vyšší čistotě (min. 4.8) než je používán při svařování korozivzdorných ocelí. Argon má menší tepelnou vodivost než

helium, proto je nutné nastavovat větší svařovací proud, tím je do základního materiálu vnášeno větší vnesené teplo (dosahujeme horších mechanických vlastností, než při použití helia – toto se obzvlášť projevuje při svařování velkých tloušťek). Při použití argonu je svařovací rychlost menší ale pořizovací cena je příznivější (a také menší spotřeba), než pořizovací cena helia.

Použitím směsi argonu a helia dosáhneme příznivého mixu vhodných vlastností obou svařovacích plynů.

Ceny technických plynů je stanovena podle cen firmy Intero Chmelan.

Tab. 27 Porovnání cen technických plynů používaných ve firmě Intero Chmelan

Argon [50 L/20 MPa] čistota 4.8	Argon [50 L/20 MPa] čistota 4.6	Helium [50 L/20 MPa] Čistota 4.8	Směs argon+ helium 50 % [50 L/20 MPa]	Formovací plyn [50 L/20 MPa]
1 600 Kč	1 140 Kč	10 000	4 316 Kč	700 Kč

#### Shrnutí:

Technologie orbitálního svařování má velké pořizovací náklady oproti technologii ručního svařování. Orbitální svařování se pro svoji velkou svařovací rychlost a dosahovanou kvalitu výsledných svaru uplatňuje při výrobě velkých sérií stejných rozměrů nebo v průmyslových odvětvích, kde je kladen velký důraz na kvalitu svaru a jeho následnou kontrolu.

Ruční svařování je levná a mobilní technologie. Dobře se uplatní při svařování na méně přístupných místech, při rychlých údržbách systému a kusové výrobě.

#### Doporučení:

- Pro svařování korozivzdorných ocelí používat svařovací plyn argon čistoty 4.6
- Pro formování kořenové vrstvy korozivzdorných chrom-niklových ocelí používat formovací plyn směs argon a vodík
- Pro svařování titanových slitin používat svařovací plyny vysoké čistoty minimálně 4.8
- Pro svařování titanových slitin používat jako formovací plyn stejný plyn jako svařovací plyn (zásadně nepoužívat směsi obsahující vodík)
- Helium jako svařovací nebo formovací plyn (pro svoji vysokou cenu) používat pouze při svařování vysokými rychlostmi a u výrobků kde je kladen velký důraz na malé vnesené teplo, malé tepelné deformace, výsledné mechanické vlastnosti nebo u materiálu velkých tloušťek
- Pro svařování titanových slitin malých tloušťek (1-2 mm) používat jako svařovací plyn směs argon a helium.
- Pro svařování součástí z titanových slitin, u kterých není kladen důraz na vnesené teplo nebo tepelné deformace použít svařovací plyn argon o minimální čistotě 4.8

## 5 Závěry

Práce se zabývá výběrem a ověření vhodné technologie pro svařování korozivzdorných ocelí a slitin titanu. V úvodu práce jsou rozebrány vysokolegované korozivzdorné ocele a slitiny titanu vhodné pro použití v potravinářském, energetickém, chemickém, farmaceutickém průmyslu a použitelné (a dostupné pro firmu Intero Chmelan) druhy svařování pro tyto korozivzdorné ocele a slitiny titanu. Jako vhodná metoda byla vybrána metoda TIG.

V experimentální části se práce zabývá popisem výroby a přípravy vzorků pro tahové zkoušky. Výpočtem vneseného tepla a posouzení výsledků tahových zkoušek a výsledné povrchové struktury svarů.

Na závěr práce jsou zhodnoceny technologie ručního a orbitálního svařování metodou TIG a používané svařovací a formovací plyny z technicko – ekonomického hlediska.

Na základě výsledků experimentální části práce je možné učinit následující závěry:

1. Nejmenšího vneseného tepla a nejlepších mechanických vlastností je dosaženo při použití helia jako svařovacího plynu, a to při svařování korozivzdorné oceli i slitin titanu.
2. Největšího vneseného tepla je a nejhorších mechanických vlastností dosaženo při použití argonu jako svařovacího plynu, a to při svařování korozivzdorné oceli i slitin titanu
3. Při použití helia jako svařovacího plynu je možno svařovat až o 35 % menším svařovacím proudem než při použití argonu
4. Pro zachování dobrých mechanických vlastností výsledného svaru titanové slitiny, je nutné použít vlečnou ochranu pro postupné ochlazení vnější svarové housenky a dokonalé formování kořenové vrstvy svaru

Na základě výsledků z technicko – ekonomického hodnocení je možné učinit následující závěry:

1. Orbitální svařování metodou TIG je vhodné používat při větších sériích svaru náročných a výsledné mechanické vlastnosti
2. Ruční svařování metodou TIG je vhodné pro kosovou výrobu a montážní činnosti
3. Pro svařování trubek z titanových slitin používat technologii orbitálního svařování metodou TIG. Jako svařovací plyn používat směs argonu a helia, a formovací plyn argon čistoty 4.8
4. Pro svařování trubek z korozivzdorných ocelí používat technologii orbitálního svařování metodou nebo ručního svařování TIG (o použité technologii rozhoduje požadovaný počet kusů). Jako svařovací plyn používat argon čistoty 4.6 a jako formovací plyn používat směs argonu a vodíku.

## Seznam použité literatury

- [1] DUŠEK, Vojtěch. Porovnání ručního a orbitálního svařování metodou TIG. Brno, 2015. 42s, 5 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Obor Strojírenská technologie. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubiček.
- [2] INTERO CHMELAN. *INTERO Chmelan a spol, s.r.o.* [online]. © 2010 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.intero.cz>
- [3] *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů.* 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.
- [4] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I.* 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-720-4283-1.
- [5] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II.* 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.
- [6] *ASM handbook.* 6th print. Materials Park: ASM International, 2003, xvi, 1299 s. ISBN 08-717-0382-3.
- [7] BARTÁK, Jiří. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů.* Ostrava: ZEROSS, 2000. Svařování. ISBN 80-857-7172-
- [8] DONACHIE, Matthew J. *Titanium: a technical guide.* 2nd ed. Materials Park, OH: ASM International, c2000. ISBN 08-717-0686-5.
- [9] LÜTJERING, G. a J. C. WILLIAMS. *Titanium: a technical guide.* 2. opr. a rozš. vyd. New York: Springer, c2003. Engineering materials. ISBN 35-404-2990-5.
- [10] LOSERTOVÁ, Monika a J. C. WILLIAMS. *Progresivní materiály: učební text.* Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. Engineering materials. ISBN 978-80-248-2575-5.
- [11] MOHYLA, Miroslav a J. C. WILLIAMS. *Strojírenské materiály I: učební text.* 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2003. Engineering materials. ISBN 80-248-0270-8.
- [12] LEYENS, C. a M. PETERS. *Titanium and titanium alloys: fundamentals and applications.* 2. vyd. [Chichester: John Wiley] (distributor), c2003. Engineering materials. ISBN 35-273-0534-3.
- [13] KANDUS, Bohumil a Jaroslav KUBÍČEK. 2001. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů.* 1. vyd. Ostrava: Zeross, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.

- [14] *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
- [15] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. Svařování. ISBN 80-214-2683-7.
- [16] KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 240 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [17] KŘÍŽ, Rudolf. *Strojírenská příručka 8. svazek: V-Tváření, W- Výrobky se slinovaných prášků, X- Výrobky z plastů, Z- Svařování součástí, Z- Protikorozní ochrana materiálu*. Praha: Scientia, 1998, 255 s. ISBN 80-718-3054-2.
- [18] ORBITEC LTD. *Orbitec* [online]. © Copyright 2011 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.orbitecuk.com/orbital/welding/oxy-2-oxygen-analyser>
- [19] *Citace.com* [online]. 2011 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://www.citace.com>

## Seznam symbolů

A= elektrický proud [A]  
A= tažnost materiálu [%]  
F= zatěžující síla [N]  
I= svařovací proud [A]  
I<sub>p</sub>= velikost impulsní proud [A]  
I<sub>z</sub>= velikost základního proudu [A]  
Q= vnesené teplo [kJ/mm]  
Q<sub>c</sub>= vnesené teplo celkové [kJ/mm]  
Q<sub>i</sub>= vnesené teplo impulsního proudu [kJ/mm]  
Q<sub>z</sub>= vnesené teplo základního proudu [kJ/mm]  
R<sub>p</sub>= smluvní mez kluzu materiálu v tahu [MPa]  
R<sub>m</sub>= smluvní mez pevnosti materiálu v tahu [MPa]  
T<sub>p</sub>= čas impulzního proudu [s]  
T<sub>z</sub>= čas základního proudu [s]  
T<sub>c</sub>= celkový čas cyklu [s]  
U= svařovací napětí [V]  
V<sub>s</sub>= svařovací rychlost [mm/s]  
η= účinnost přenosu tepla [-]



# Přílohy

Příloha č. 1:

	<b>COMPANY</b> <b>WITH QUALITY SYSTEM</b> <b>CERTIFIED BY DNV</b> <b>= ISO 9001 / 2000 =</b> <b>CERT-00149-94-AQ-MIL-SINCERT</b>	<b>COMPANY WITH</b> <b>ENVIRONMENTAL MANAGEMENT</b> <b>SYSTEM CERTIFIED BY DNV</b> <b>= ISO 14001 : 2004 =</b> <b>CERT-1194-2005-AE-MIL-SINCERT</b>	<b>Ita Inox S.p.A.</b> Strada Statale 45 bis 26010 Robecco d'Oglio (CR) - Italia Tel. + 39 0372 9801 Fax + 39 0372 921538 e-mail: sales@ita.arvedi.it quality@ita.arvedi.it www.arvedi.it	 

**TEST CERTIFICATE ACCORDING TO EN 10204/ 3.1** N° **98492** Pag. 1 di 1  
**ABNAHMEPRÜFZEUGNIS - CERTIFICAT D'ESSAIS - CERTIFICATO DI COLLAUDO**  
 for longitudinally welded tubes/längsnahtgeschweisste rohre/pour tubes soudés longitudinalement / Per tubi saldati longitudinalmente

<b>Customer:</b> Besteller/Client/Cliente <b>RECHN.KONTOK./POSTFACH 105032</b>		<b>LOGISTICS &amp; SERVICES GMBH</b> <b>40041 DUESSELDORF</b>	
<b>Customer Order N°:</b> 5401668120 ✓ Bestellung/Commande Client/Ordre Client		<b>Mill's Ita Inox N°:</b> 2009/3513 Werke N°/N° référence interne/Conferma ordine	
<b>Specifications:</b> Anforderungen/Specifications/Spécifications <b>EN 10217-7: 2005 / TC1 /</b>		<b>Tolerances:</b> EN ISO 1127 D3/T3 Toleranzen/Tolérances/Tolérances	
<b>Manufacturer's mark:</b> Herstellerzeichen/Marque du fabricant/Marchio del produttore <b>Inspector's stamp: M.S.</b> Stempel des Sachverständigen/Pointon de l'inspecteur/Punzone dell'ispettore		<b>Marking:</b> EN 10217-7 Kennzeichnung/Marquage/Marcatura	
<b>Item</b> Pos. N°	<b>DIMENSIONS</b> Abmessungen Dimensions/Dimensioni	<b>PIECES N°</b> Stückzahl Pièces/Pezzi	<b>METERS</b> Meter Mètres/Metri
008	40.00x 1.50x6000	33	198.00
			<b>WEIGHT(Kg)</b> Gewicht/Poids Peso
			280.00
			<b>GRADE</b> Werkstoff/Nuance Materiale
			1.4571 316Ti Z6 CNDT 17-12 UNS
			<b>STANDARD CODE</b> Normbezeichnung Designation/Designazione
			X6CrNiMoTi 17-12-2
			<b>EXECUTION</b> Ausführung Execution/Esecuzione
			W2b

**Chemical analysis acc.to: ASTM A240 / EN 10088-2/EN 10028-7 Last Edition**  
**Steel making process : E/AOD**

Schmelzanalyse/Chimique analyse/Analisi chimica  
 Ershmelzungsart/Procédé d'elaboration/Procedimento di elaborazione acciaio

Item N°	Manuf. Hersteller	HEAT N° Schmelze/Coulée/Colata	% C	% Si	% S	% P	% Mn	% Cr	% Ni	% Mo	% Ti	% Co	% Cu	% N
008	.....	418431	0.030	0.590	0.001	0.027	1.150	16.680	10.650	2.060	0.310	0.190	0.270	0.014

**Mechanical test acc.to fab.: 6-7 EN 10217-7**

Mechanische Prüfungen/Essais mécaniques/Caratteristiche meccaniche

Item Pos. N°	HEAT N° Schmelze Coulée Colata	HOMOLOG. Zulassung Omologation Omologazione	TEST Probe Epreuve Prova	SPECIMEN SIZE Abmessung Probestab Dimen. Epreuve Dimensione provetta mm.	YIELD STRENGTH Streck-Dehngrenze Limite d'élasticité Limite di snervamento 0,2% N/mm² 1%	TENSILE STRENGTH Zugfestigkeit Résistance à traction Limite di rottura N/mm²	ELONGAT. Bruchdehnung Allongement Allungamento %	HARDNESS Haerte Dureté Durezza HB
<b>Requirement</b>	<b>Anforderungen/Exigences/Requisiti</b>			<b>X6CrNiMoTi 17-12-2</b>	<b>&gt;= 210</b>	<b>&gt;= 245</b>	<b>500 - 730</b>	<b>&gt;= 35</b>
008	418431		1 L	20 x 1.5	490	523	685	48.0

## Test Results

Ergebnisse der Prüfungen/Résultat des essais/Risultati delle prove

**Heat treatment:** ===== °C  
**Technological test :** ===== / EN 10233: OK / ===== / =====  
**Residual Corrosion Test acc. to:**  
**Intergranular Corrosion Test acc. to:** EN ISO 3651-2/A: OK  
**Non Destructive Test acc to:** EN 10246-3/E1H: OK  
**Leak Test/Hydrostatic test to:** EN 10246-2: OK  
**Uncorrect Material Test:** Ohne Beanstandung zu 100%: Durchgefuehrt  
**Visual and gauging control:** Ohne Beanstandung

Wärmebehandlung/Tratamiento termico/Trattamento termico  
 Technologische Prüfung/Examen technologique/Prove tecnologiche  
 Korrosionsfördernde Rückstände/Essai résidues corrosif/Prova residui corrosivi  
 IK Beständigkeit/Essai corr.intergr./Prova di corrosione intergranulare  
 Zerstörungsfreie Prüfung/Contrôle non destructif/Controllo non distruttivo  
 Dichtheitsprüfung/Essai d'étanchéité/Prova di tenuta  
 Verwechslungsprüfung/Essai P.M.I./Prova antimiscuglio  
 Besichtigung und Ausmessung/Contrôle visuel et dimensionnel/Controllo Visivo e dimensionale

## Notes:


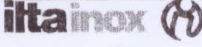


We certify that the delivered products comply with the specification of the order.  
 Nous attestons que les produits livrés sont conformes aux références de la commande/ Noi attestiamo che il materiale spedito è conforme ai requisiti dell'ordine  
 Robecco d'Oglio, 30/09/2009  
 Issued by: Cordani A. S

Wir bestaetigen, dass die gelieferte Ware den Bestellvorschriften  
 entspricht/Nous attestons que le matériel expédié est conforme aux prescriptions  
 Mill's Inspector / Der Werksachverständige  
 Inspecteur de l'usine / Firma Ispettore

Mazzolari p.i. Stefano

Arvedi



	<b>COMPANY WITH MANAGEMENT SYSTEM CERTIFIED BY DNV GL</b> ISO 9001 ISO 14001 OHSAS 18001	Ita Inox S.p.A. Strada Statale 45 bis 28010 Robecco d'Oglio (CR) - Italia Tel + 39 0372 9801 Fax + 39 0372 921538 e-mail: sales@ita.arvedi.it quality@ita.arvedi.it www.arvedi.it												
			<b>TEST CERTIFICATE ACCORDING TO EN 10204(2004) 3.1</b> <span style="float: right;"><b>N°0000381445</b></span> ABNAHMEPRÜFZEUGNIS - CERTIFICAT D'ESSAIS - CERTIFICATO DI COLLAUDO Longitudinally laser welded tubes/Laser längsnahtgeschweisste rohre/Tubes soudés longitudinalement laser/Tubi saldati longitudinalmente laser											
Customer: <b>ARMAT SPOL S.R.O.</b> Besteller/Clien/Cliente: <b>RETOVA 82</b> <span style="float: right;"><b>RETOVA - CZECH REPUBLIC</b></span>														
Customer Order N°: <b>IL-3/2014 - 000-070-1.4301/7</b> Bestellung/Commande Client/Ordre Client		Mili's Ita Inox N°: <b>0411036890 - 000050 # 0421041702 - 000050</b> WerksN°W reference Interne/Confirma ordine												
Specifications: <b>EN 10217-7:2005 / TC1 // EN 10357:2013</b> Anforderungen/Specifications/Specifiche // CC		Tolerances: <b>EN 10357 TAB.1 SERIES A</b> Tolleranze/Tolérances/Tolleranze												
Manufacturer's mark:  Herstellerzeichen/Marque du fabricant/ Marchio del produttore Inspector's Stamp: M.S. Stempel des Sachverständigen/Polçon de l'inspecteur/Punzone dell'ispettore		Marking: According to EN 10357 Kennzeichnung/Marquage/Marcatura												
Item Pos. N°	DIMENSIONS Abmessungen Dimensioni/Dimensioni	PIECES N° Stückzahl Pièces/Pezzi	METERS Meter Mètres/Metri	WEIGHT(kg) Gewicht/Poids Peso	GRADE Werkstoff/Nuance Materiale	STANDARD CODE Normbezeichnung Designation/Designazione	EXECUTION Ausführung Esecuzione/Esecuzione							
50	70.00 X 2.00 X 6000	37	222.00	707.000	TP.304L	X2 CrNi 18-9	W0 b							
50	70.00 X 2.00 X 6000	37	222.00	705.000	1.4307		W0 b							
50	70.00 X 2.00 X 6000	37	222.00	722.000	Z3 CN 19-9		W0 b							
50	70.00 X 2.00 X 6000	37	222.00	714.000	UNS S30403		W0 b							
Chemical analysis acc.to: ASTM A240/ EN 10088-2/EN 10028-7 Last Edition Steel making process :E/AOD <span style="float: right;">Schmelzanalyse/Chimique analyse/Analisi chimica</span>														
Item N°	Manufacturer Hersteller/Fabricant/Produttore	HEAT N° Schmelze/Coulée/Colata	% C	% Si	% S	% P	% Mn	% Cr	% Ni	% Mo	% Ti	% Co	% Cu	% N
50	.....	438075	0.021	0.440	0.0040	0.031	1.450	18.070	8.020			0.175	0.320	0.071
50	.....	925810	0.025	0.400	0.0006	0.032	1.420	18.000	8.010			0.189	0.356	0.060
50	.....	953057	0.020	0.460	0.0003	0.033	1.700	18.100	8.020					0.070
50	.....	953512	0.019	0.500	0.0004	0.033	1.660	18.200	8.080					0.070
Mechanical test acc. to tab.: 6-7 EN 10217-7 <span style="float: right;">Mechanische Prüfungen/Essais mécaniques/Caratteristiche meccaniche</span>														
Item Pos. N°	HEAT N° Schmelze Coulée Colata	HOMOLOG. Zulassung Omologazione	TEST Probe Epruvette Prova n°	SPECIMEN SIZE Abmessung Probestab Dime. Epruvette Dimensione provetta mm.	YIELD STRENGTH Streck-Dehngrenze Limite d'élasticité Limite di snervamento 0,2% N/mm² 1%	TENSILE STRENGTH Zugfestigkeit Résistance à traction Limite di rottura N/mm²	ELONGAT. Bruchdehnung Allongement Allungamento A5%	HARDNESS Härte Durezza HB						
REQUIREMENT	Anforderungen/Exigences/Requisiti				>=180	>=215	470 - 670	>= 40.0						
50	438075		01 L	20 X 2.00	428	474	658	53.3						
50	925810		01 L	20 X 2.00	428	472	665	52.6						
50	953057		01 L	20 X 2.00	422	468	668	52.4						
50	953512		01 L	20 X 2.00	438	487	665	54.8						
<b>Test Results</b> <span style="float: right;">Risultati delle prove</span> Heat treatment: <span style="float: right;">Wärmebehandlung/Trattamento termico/Trattamento termico</span> Technological test: EN 10234: OK / OK / OK / OK <span style="float: right;">Technologische Prüfung/Examen technologique/Prova tecnologica</span> Residual Corrosion Test acc.to: OK <span style="float: right;">Korrosionsfördernde Rückstände/Essai résidua corrosif/Prova residui corrosivi</span> Intergranular Corrosion Test acc.to: EN ISO 3651-2/A : OK <span style="float: right;">IK Beständigkeit/Essai cor. Intergr./Prova di corrosione intergranulare</span> Non Destructive Test acc. to: EN 10246-3/EIH: OK <span style="float: right;">Zerstörungsfreie Prüfung/Contrôle non destructif/Controllo non distruttivo</span> Leak Test/Hydrostatic test to: EN 10246-2: OK <span style="float: right;">Dichtheitsprüfung/Essai d'étanchéité/Prova di tenuta</span> Uncorrect Material Test: carried out 100% no remarks <span style="float: right;">Verwechtingsprüfung/Essai P.M.I./Prova antimiscuglio</span> Visual and gauging control: no remarks <span style="float: right;">Besichtigung und Ausmessung/Contrôle visuel et dimensionel/Controllo visivo e dimensionale</span>														
<b>Notes:</b> Material fully conform to type: 4301/304 ROUGHNESS ON BASIC MATERIAL Ra Max. 0,8 micron. ROUGHNESS ON WELDING ZONE Ra Max. 1,6 micron.														
We certify that the delivered products comply with the specification of the order / Wir bestätigen, dass die gelieferte Ware den Bestellvorschriften entspricht / Nous attestons que les produits livrés sont conformes aux références de la commande / Noi attestiamo che il materiale spedito è conforme ai requisiti dell'ordine Robecco d'Oglio, 04/12/2014 <span style="float: right;">Mazzolari p.i Stefano</span> Issued by: Cordan A. <span style="float: right;">Inspector / Der Werksachverständige</span> <span style="float: right;">Inspecteur de l'usine / Firma Ispettore</span>														
														



18/07/2006 11:25

STR. 02/02


**MARCEGAGLIA S.p.A.**

Sede legale ed amministrativa: via Bresciani, 16 - 46040 Gazzolo degli Ippoliti - Mantova - Italy  
Tel. +39 0376 685 1 Fax +39 0376 685 600 [www.marcegaglia.com](http://www.marcegaglia.com)  
Stabilimento di Porti: via Mattei, 20 - 47037 Porti (Pesaro) - Porti-Cesena - Italy  
Tel. +39 0543 470 111 Fax +39 0543 470 105

Certificato di Collaudo  
Test certificate  
Abnahmeprüfzeugnis  
Certificat de contrôle  
EN 10204 3.1  
Nr. 34322

Data: 11/10/2005  
Date:  
Datum:

<b>Cliente</b> Customer Kunde Client		<b>Ordine Cliente</b> Customer's Order Bestellung Commande du Client	00-001658/05	<b>Ordine Marcegaglia</b> MI Order Unsere Auftragbestätigung Notre confirmation de commande	138298
<b>Tipo di Acciaio</b> Steel type Werkstoff Nuance acier	TP 316L X2CrNiMo17-12-2 EN 1.4404 Z3 CND 17-12-02	<b>Norma di collaudo</b> Test specification Prüfungsnormen Specification	DIN 17457 PK1	<b>Tolleranze</b> Tolerances Toleranzen Tolérances	EN ISO 1127 D3/T3
<b>Trattamento</b> Heat treatment Wärmebehandlung Traitement thermique					Aria

Tubi saldati longitudinalmente Welded tubes / Längsnahtgeschweißte Rohre / Tubes soudés							Composizione Chimica Chemical Analysis / Chimische Analyse / Composition Chimique										
Pos. Nr.	Dimensioni Dimensions Dimensions	Quantità Quantity Menge Quantité	Peso Weight Gewicht Poids	Pezzi Pieces Stückzahl Pièces	Stato di Fornitura Condition Supply Lieferzustand Etat de commande	Fabbricante Cell Steel maker code Cellenhersteller Produkteur code	Codice Heat Reference Code	C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Tr (%)	N (%)
1	60,3x3,0			37			400990	0,016	1,21	0,32	0,028	0,014	16,54	11,00	2,08		0,0410
2	70x2,0			35			400998	0,016	1,29	0,31	0,028	0,014	16,64	11,03	2,01		0,0360

Valori richiesti Required values Anforderungen Caractéristiques des valeurs	Carico di Snervamento 0,2% R <sub>0,2</sub> Yield Strength Grenze Limite élastique (MPa)	Carico di Snervamento 1,0% R <sub>1,0</sub> Yield Strength Dahmgenze Limite élastique (MPa)	Carico di Rottura R <sub>m</sub> Tensile Strength Zugfestigkeit Resistance rupture (MPa)	Allungamento a rottura A <sub>5</sub> Elongation Dehnung Allongement (%)	Durezza HRB Hardness HRC Dureté	Sviluppatura Proofing test Baugprobe Eigenschaften	Indicatore Chemical test Nachweis Apparatur	Prova a tensione Tensile test Zugversuch DIN 10002/EN 10002 Acquisition	Mantenimento ad anello Ring stretching Ring Aufbewahrung Retention	Prova a lavoro Hydrotesting Versuch Versuch	Prova a lavoro Hydrotesting Versuch Versuch	Prova a lavoro Hydrotesting Versuch Versuch	Prova a lavoro Hydrotesting Versuch Versuch	Prova a lavoro Hydrotesting Versuch Versuch	Prova a lavoro Hydrotesting Versuch Versuch
Pos. Nr.	1	293	326	600	53										
	2	284	327	605	52				OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

<b>Prova di trazione secondo</b> Tensile test according to Zugversuch gemäß EN 10002-1:2001	<b>Prova di corrosione intermetallica secondo</b> Intergranular corrosion test according to Prüfung auf intermetallische Korrosion gemäß Essai de corrosion intergranulaire en according avec	<b>Controllo visivo a</b> dimensionale Visual and dimensional control Sichtmaß Abmessungenkontrolle Contrôle visuel et dimensionnel OK	<b>Gm logaz one AQUAP</b> Cu: 2384 - 2101 Cu: 2370 - 2110 Cu: 2422 - 2101 a 2443-2101 Cu: 2450 - 2101 a 2453-2101
--	--	---	---

<b>Marcegaglia</b> Marking / Kennzeichnung / Marquage	<b>Legenda</b> 1. Sigla Produttore Manufacturer's trade mark Zeichen des Lieferanten Temple du producteur 2. Norma di collaudo Test specification Prüfungsnormen Specification 3. Tipo Acciaio 1 Grade 1 Werkstoff 1 Nuance 1 4. Tipo Acciaio 2 Grade 2 Werkstoff 2 Nuance 2	5. Colore Heat Schmelze Couleur 6. Saldato Welded Geschweißte Soudé 7. Stato di fornitura Supply condition Lieferzustand Etat de commande 8. Laminato - Non laminato Initials based on delivery - not remove Initials based on delivery - not remove Laminé - Pas laminé	9. Tubo Crudo - Riscotto Not annealed - Annealed tube Ungeglühtes - Geprüftes Rohr Pas traité - Récuit 10. Tipo di classe Class type Profilserie Serie 11. Tubo N° Tube N° Rohr N° Tube N° 12. Prevede il Certificato VW test mill Mit Werkstoffbescheinigung Certificat de contrôle	13. Prova Eddy Current Eddy Current Test Wirbelstromprüfung Eigenschaft des Rohrs 14. Diametro e spessore in mm Diameter and Thickness in mm Außen- und Innendurchmesser Diameter and Thickness in mm 15. Diametro e spessore schedati Diameter and Thickness schedule Außen- und Innendurchmesser Diameter and Thickness schedule
--	--	---	---	---

<b>Osservazioni</b> THE CHEMICAL COMPOSITION REFERS TO THE RAW MATERIAL USED ACCORDING TO EN 10008 Vw1 Test according to PREN 10217-7:2002 (E)	<b>Marcegaglia S.p.A.</b> Quality Assurance Department
---	---

<b>Avviso di spedizione</b> Shipping notice Versandanzeige Avis d'expédition	639346	<b>Nei certificati che il prodotto fornito è conforme ai requisiti dell'ordinazione</b> We certify that material supplied complies with the requirements agreed on order Es wird bestätigt, dass die Lieferung den Vereinbarungen bei der Bestellannahme entspricht Nous certifions que le produit fourni est conforme à la qualité de la commande Mod. 001 Rev. 04 09/2002	<b>Marcegaglia S.p.A.</b> Quality Assurance Department
---	--------	---	---

(Tube)



ASTM	Ti grade 2	DIN	3.7035 - Titanium				AFNOR	T 40	
General characteristics									
<p>Titanium with purity level and mechanical properties intermediate between grade 1 and grade 3 specifications. Limited impurities are iron, nitrogen and oxygen. These elements raise the mechanical properties (hardness, yield and tensile strength) at the expense of elongation. Hydrogen has a detrimental effect on ductility and its content is kept as low as possible.</p> <p>It should be emphasized that fabrication operations (annealing, descaling) can increase the impurity level unless particular care is taken. Such contamination may raise the impurity level beyond that of grade 2, thereby transforming the material into grade 3 or even grade 4. This degradation is irrecoverable.</p>							Machinability	--	
							Hardening	no	
							Polishing	-	
							Magnetic	no	
							Aging	no	
							Welding		
							MIG,TIG,WIG	yes	
Arc	yes								
Resistance	no								
Autogenous	no								
Laser	yes								
Chemical composition according to ASTM [%] (OE = Other Each, OT = Other Total)									
C	Fe	H	N	O	Si	OE	OT	Titanium	
< 0.1	< 0.3	< 0.015	< 0.03	< 0.25	-	< 0.05	< 0.3	Balance	
Physical properties									
Density $\rho$ [kg·m <sup>-3</sup> ]		Electrical resistivity $\rho$ [ $\mu\Omega\cdot m$ ]			Specific heat $C_p$ [J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]		Thermal conductivity $\lambda$ [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]		
4500		0.5 à 0.55			520		16		
Coefficient of thermal expansion $\alpha$ [10 <sup>-6</sup> ·°C <sup>-1</sup> ] between 20°C and							Elastic modulus E [GPa]		
100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	105 at 20 °C		
8.4	9.3	9.5	9.7	9.8	10	10.2	80 at 400 °C		
Mechanical properties									
State	Yield strength R <sub>p0.2</sub> [MPa]				Tensile strength R <sub>m</sub> [MPa]	Elongation A <sub>5</sub> [%]	Vickers Hardness [HV]		
	20°C	205 °C	315 °C	425 °C					
Annealed	276				345	20	140		
Typical	300	145	107	89	420		210		
Full hard	448						240		
Thermal treatments									
Type	Temperature [°C]	Time [minutes]		Protective atmosphere			Cooling		
Annealing	700	30 - 240		Cf. Fabrication characteristics			Not critical		
Stress relief	480 - 600	30 - 60		Cf. Fabrication characteristics			Not critical		
Chemical treatments									
Type	Solvent				Remarks				
Descaling	Molten oxidizing or reducing salts				If scale formed above 600°C				
Descaling	15 - 40 % HNO <sub>3</sub> + 1 - 2 % HF				If scale formed below 600°C				
Cleaning	Alkaline or chlorine-free solvents.								
Fabrication characteristics									
<p>This alloy can easily be cold rolled, but cold drawing is very difficult because of frequent seizing on the die. Oxidation of the surface is often required to prevent seizing on drawing. Annealing can be performed under high vacuum, under argon after careful purging of the recipient or in air. Annealing in air oxidizes the surface to a depth of 0.1 to 0.2 mm, depending on time and temperature of the treatment. The oxide scale must be removed mechanically or chemically after treatment; therefore pieces should be designed accordingly. The oxide scale, in turn, presents a very good protective layer, preventing bulk from oxidation. The oxidized layer provides a better protection than the use of argon or high vacuum. Titanium can easily be hot worked. In this case, an oxidized layer forms as well that must be chemically or mechanically removed after work.</p>									
Welding, brazing and soldering									
<p>Titanium can be welded by the conventional techniques used with austenitic stainless steels. Nevertheless, the heat affected zone must be protected by either argon, helium or a mixture because of the material's reactivity.</p> <p>Liquid argon is often used because of its purity. Its dew point must be below -60°C. Gas flow must be carefully controlled to avoid turbulent flow.</p> <p>There are also glove boxes designed for the welding of titanium pieces. Welding is processed in a protective atmosphere and the manipulation is made through gloves sealed to the box. Welding should be performed on annealed pieces. If not, the heat affected zone will soften, resulting in mechanical properties different from those of the bulk material.</p>									
Available products									

### Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/

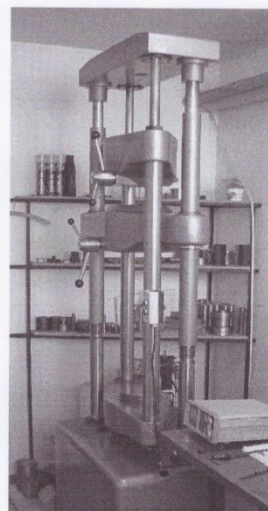
Stroj umožňuje provádět tahové, tlakové a ohybové zkoušky materiálů do 400 kN s řízením rychlosti zatěžování a programovým zpracováním zkoušek. Je vybaven vestavěným inkrementálním délkovým snímačem polohy přičníku s rozlišením 0,01 mm a snímačem síly s řídicí jednotkou EDC 60.

Řídicí jednotka EDC 60 je vysoce precizní elektronické zařízení speciálně konstruované pro řízení servo-hydraulických zkušebních strojů. Je vyráběna speciálně pro aplikace řízení zkušebních strojů a využívají ji přední evropští výrobci univerzálních zkušebních strojů. Jednotka je opatřena programem pro zkoušky kovů s možností provádět zkoušky bez PC u jednoduchých aplikací bez použití průtahoměru.

Technické parametry:

- Výrobce: HBM /SRN/
- Měřicí rozsah: 8 ÷ 400 kN
- Chyba měření síly: 1/100 jmenovitého rozsahu síly, tj.  $\pm 1 \%$  odpovídá třídě přesnosti 1
- Měřicí rozsah měření dráhy: 0 ÷ 280 mm
- Chyba měření dráhy:  $\pm 0,01$  mm
- sériové rozhraní RS 232 pro komunikaci s nadřazeným PC
- COM1 pro PC s FIFO s maximální rychlostí 115 KB
- inkrementální vstup pro napojení snímače dráhy

Počítač je vybaven programem M-TEST v.1.7 pro tahovou, tlakovou a ohybovou zkoušku kovových materiálů dle EN 10001-2 s vyhodnocením výsledků, grafickým zpracováním.



Řídicí jednotka EDC 60

## Seznam obrázků a tabulek

### Seznam obrázků

- Obr. 1. Výrobek Intero Chmelan, při jehož výrobě bylo použito orbitální i ruční svařování
- Obr. 2 Hlavní výrobní program společnosti Intero Chmelan:
- Obr. 3 Schaefflerův strukturní diagram Cr- Ni ocelí
- Obr. 4 Výsledné mikrostruktury oceli EN ISO 1.4307; 1.4571, 1.4404 dle Schaefflerova diagramu Cr – Ni ocelí
- Obr. 5 Výsledné mikrostruktury oceli EN ISO 1.4307; 1.4571, 1.4404 dle De Longova diagramu Cr – Ni ocelí
- Obr. 6 Zoxidovaný povrch svaru slitiny titanu
- Obr. 7 Zoxidovaný povrch kořenové vrstvy svaru slitiny titanu při použití nevhodného formovacího plynu
- Obr. 8 Použití vlečné ochrany při svařování slitin titanu pomocí orbitálního svařování metodou TIG
- Obr. 9 Chráněný a nechráněný povrch svaru
- Obr. 10 Rozdíl mezi dobře chráněným a špatně chráněným bodem
- Obr. 11 Princip metody TIG
- Obr. 12 Srovnání formovaného a neformovaného kořene svaru
- Obr. 13 Vyboulení svarové housenky z důsledku velkého průtoku formovacího plynu
- Obr. 14 Kořen svaru s vrstvou nitridu titanu
- Obr. 15 Průtokoměr Oxy-2; firmy Orbitec
- Obr. 16 Princip metody MIG/MAG
- Obr. 17 Obalovaná elektroda
- Obr. 18 Vzorek svařované trubky
- Obr. 19 Vzorek z korozi-vzdorné ocele EN ISO 1.4571 po frézování drážek
- Obr. 20 Vzorek z korozi-vzdorné ocele EN ISO 1.4571 po trhací zkoušce
- Obr. 21 Operace frézování vzorků
- Obr. 22 Metalografická pila
- Obr. 23 Metalografická bruska
- Obr. 24 Srovnání šířky svaru při použití helia a argonu při použití stejných svařovacích proudů

Obr. 25 Výsledné grafy tahových zkoušek svařených vzorků. Základní materiál slitina titanu DIN 3.7035.

Obr. 26 Výsledné grafy tahových zkoušek svařených vzorků. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm

Obr. 27 Výsledné grafy tahových zkoušek svařených vzorků. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Tloušťka stěny materiálu 3,0 mm

Obr. 28 Tepelně ovlivněné oblasti korozivzdorné oceli EN ISO 1.4571

Obr. 29 Tepelně ovlivněné oblasti slitiny titanu DIN 3.7035

Obr. 30 Tepelně ovlivněná oblast a špatně formovaný kořen svaru slitiny titanu DIN 3.7035

Obr. 31 Přechod mezi tepelně ovlivněnou oblastí a tepelně neovlivněným materiálem titanové slitiny DIN 3.7035 zvětšení 20x

Obr. 32 Přechod mezi tepelně ovlivněnou oblastí a tepelně neovlivněným materiálem titanové slitiny DIN 3.7035 zvětšení 10x

Obr. 33 Přechod mezi tepelně ovlivněnou oblastí a tepelně neovlivněným materiálem korozivzdorné oceli EN ISO 1.4571 zvětšení 10x

Obr. 34 Přechod mezi tepelně ovlivněnou oblastí a tepelně neovlivněným materiálem korozivzdorné oceli EN ISO 1.4571 zvětšení 10x

## **Seznam tabulek**

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli EN ISO 1.4571

Tab. 2 Chemické složení oceli EN ISO 1.4571

Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli EN ISO 1.4407

Tab. 4 Chemické složení oceli EN ISO 1.4307

Tab. 5 Mechanické vlastnosti oceli EN ISO 1.4404

Tab. 6 Chemické složení oceli EN ISO 1.4404

Tab. 7 Shrnutí

Tab. 8 Obsah uhlíku v korozivzdorných ocelích používaných ve firmě Intero Chmelan

Tab. 9 Obsah S a P v korozivzdorných ocelích používaných ve firmě Intero Chmelan

Tab. 10 Shrnutí výhod a nevýhod korozivzdorných austenitických ocelí

Tab. 11 Mechanické vlastnosti slitiny titanu DIN 3.7035

Tab. 12 Chemické složení slitiny titanu DIN 3.7035

Tab. 13 Srovnání vneseného tepla při použití ručního a orbitálního svařování

Tab. 14 Zadané hodnoty pro vzorek č. 1:

Tab. 15 Zadané hodnoty pro vzorek č. 2:

Tab. 16 Zadané hodnoty pro vzorek č. 3

Tab. 17 Zadané hodnoty pro vzorek č. 4

Tab. 18 Zadané hodnoty pro vzorek č. 5

Tab. 19 Zadané hodnoty pro vzorek č. 6

Tab. 20 Zadané hodnoty pro vzorek č. 7:

Tab. 21 Shrnutí výsledného vneseného tepla

Tab. 22 Srovnání mechanických vlastností svařených vzorků. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Tloušťka stěny materiálu 3,0 mm

Tab. 23 Srovnání mechanických vlastností svařených vzorků. Základní materiál korozivzdorná ocel EN ISO 1.4571. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm

Tab. 24 Srovnání mechanických vlastností svařených vzorků. Základní materiál slitina titanu DIN 3.7035. Tloušťka stěny materiálu 1,6 mm

Tab. 25 Porovnání pořizovacích nákladů metod TIG